



Munich Personal RePEc Archive

Environmental Policy and China's Macroeconomic Dynamics Under Uncertainty—Based on The NK Model with Distortionary Taxation

Xu, Wenli and Xu, Kun and Lu, Hongyou

Economics and Management School of Wuhan University,
Economics School of Anhui University, Economics and Management
School of Wuhan University

15 May 2016

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/71314/>

MPRA Paper No. 71314, posted 16 May 2016 06:20 UTC

不确定性下的环境政策与中国宏观经济动态¹

——基于扭曲性税收的新凯恩斯模型

内容提要：本文构建了一个市场不确定性环境下的新凯恩斯模型，并将其置于扭曲性税收环境中，同时，融入企业污染排放行为与环境质量演化过程，从理论上分析政府实施不同环境政策情形下，市场冲击与税收政策冲击对宏观经济与环境的影响。在此基础上，利用中国 1978 年-2014 年的宏观经济与污染排放数据，并结合前人相关研究成果，校准模型参数，模拟不同环境政策下，宏观经济与环境对经济环境变化的响应。实证结果显示：（1）环境政策的实施会造成经济损失，污染排放量每下降 1%，所付出的经济成本平均为 0.1950%，其中，总量控制下的许可证制度造成的经济成本最小（0.11149）；（2）环境政策对宏观经济波动发挥着“自动稳定器”作用，而总量控制下的许可证制度对宏观经济波动的抑制效果最大；（3）市场价格机制越不畅通，越阻碍企业的减排活动，污染排放量越大；（4）税收政策对企业的减排活动发挥着重要的引致效应。基于以上结论，本文建议：尽快实施环境规制措施，且以总量控制下的排放许可证制度为主，其他环境政策供给为辅；深化市场体制改革，畅通价格传导途径，发挥市场对污染治理和减排的基础作用；改革财政体制，更倾向于绿化税收制度，从而发挥财税政策对绿色发展的引导作用。

关键词：环境政策 宏观经济动态 新凯恩斯模型

一、引言

国家治理的范围包括政治、经济、文化、社会以及生态文明等各个领域。在现代市场经济条件下，政府的基本职能是提供公共服务、矫正外部性，其中，促进生态文明建设是政府的重要职责。生态环境属于公共品，而且是最普惠的民生福祉；然而，在中国粗放式高速工业化进程中，生态环境又成了“搭便车”的“重灾区”，以致于亚洲开发银行

（2012）认为，在未来相当长一段时期内，中国的生态环境可持续性所面临的挑战，都是世界上最为复杂和困难的问题。一方面，环境风险以及由此引起的各种经济风险和社会风险不断积聚；另一方面，环境治理能力又远远赶不上破坏速度，生态环境赤字呈现不断扩大趋势。根据耶鲁大学环境学院的相关测算，中国 2006 年-2014 年间的环境绩效指数排名所有国家和地区的后列，而空气质量更是排名倒数第二，其得分为 18.81，较十年前下降了 14.15%。2014 年世界卫生组织发布的全球城市空气质量调查报告显示，中国只有 9 个城市空气质量进入前 100 达标城市行列。且在 2013 年，中国 CO₂ 排放占全球总排放量的 27.7%，也已跃居全球第一。如表 1 所示，中国经济总量排名与环境绩效指数排名形成强烈反差。

表 1 中国经济总量与环境质量

Table 1 GDP and Environmental Quality

年份	2006	2008	2010	2012	2014
GDP 增速	12.68%	9.63%	10.45%	7.67%	7.3%
GDP 排名	4	3	2	2	2

¹本文受到国家社科重大项目“城乡环境基本公共服务非均等程度评估及均等化路径研究”（项目编号：11&ZD041）、国家社科重大项目“建构基于生态文明建设的公共财政体制研究”（项目批准号：15ZDB158）和国家标准化研究院委托课题“农村人居环境改善标准化研究”的资助，在此特别感谢。当然文责自负。

EPI 得分	56	65	49	42	43
EPI 排名	94	105	121	116	118
	(133)	(149)	(163)	(132)	(178)

注：（1）GDP 增速来源于国家统计局数据中心；（2）环境绩效指数 EPI 得分和排名均来源于耶鲁大学 epi 网站，<http://www.epi.yale.edu/>。EPI 排名括号中为所有国家和地区数量。

针对经济增长与环境质量下降以及由此引致的经济社会风险问题，中国政府采取数量管制、环境税费、可交易排放许可证等多种环境政策措施加以应对，努力协调环境质量、经济增长与居民福利之间的关系。具体表现在以下几个方面：第一，2009 年，中国政府宣布，到 2020 年单位 GDP 温室气体排放比 2005 年下降 40%-45%，且又在 2014 年《中美气候变化联合声明》中提出，中国在 2030 年左右 CO₂ 排放达到峰值，并在 2015 年再次明确这一目标；第二，自 2013 年开始，中国 7 个省市陆续试点碳排放交易市场，并预备 2017 年建设全国统一市场；第三，2015 年发布了《中华人民共和国环境保护税法（征求意见稿）》。至此，环境税、排放权交易和数量管制等环境政策措施在中国试点或即将全面实施。在不同技术水平和发展阶段，一种环境政策可能比另几种环境政策更好。分析环境政策时，在一定条件下，识别出哪些环境政策更优越就显得十分重要（D. Fullerton, 2001）。那么，在不同的发展阶段、不同的生产技术水平以及不同的市场化程度下，这些环境政策对中国宏观经济有什么样的影响？其影响效应多大？环境政策对中国经济周期的最优响应是什么？环境政策冲击对中国宏观经济的动态影响是什么样的？这些都是本文要深入分析的问题。

本文剩余结构安排如下：第二部简要回顾环境政策效应的研究文献；第三部分构建包含环境质量与环境政策的中国环境新凯恩斯模型，以 CO₂ 排放量为环境污染的代理变量，在生产过程中产生污染物，污染物进而影响到代表性居民的福利，政府部门采取环境税、排污许可证以及规定排污数量等措施限制环境污染，并从理论上揭示中国环境政策对环境质量、经济增长和社会福利的影响机理及传导机制；第四部分利用中国的相关统计数据探讨经济变化趋势和 CO₂ 排放量变化趋势，并对模型相关参数进行校准；第五部分在前两个部分的分析基础上，数值模拟中国三种环境政策对环境质量、经济增长和社会福利的影响程度；第六部分是基本结论及其相关政策含义。

二、相关文献回顾

空气污染和相应的市场失灵是微观经济学理论的重要研究内容。经济学家认为，空气污染是由于稀缺性环境资源缺乏价格所导致的。因此，经济学家建议确定产权，引入以单位税或者排污费为替代的价格信号来更加经济的使用这种资源，例如，清洁的空气。一旦价格机制有效发挥作用，污染者面临着价格等于边际排污成本的约束，该约束促使排污者将边际社会成本内部化。国内外学者主要关注于单一环境政策的环境与经济效应，要么是排污许可证对环境和经济的影响（涂正革和谌仁俊，2015），要么是环境税对环境和经济的影响（刘凤良和吕志华，2009；姚昕和刘希颖，2010；G. Heutel, 2012）。

自从 Weitzman M. L.(1974, 2015)从理论上探讨了环境价格型政策和环境数量型政策的优劣之后，环境政策越来越受到经济学界的关注。Weitzman M. L.（1974）的研究表明，当边际收益函数的斜率比边际成本函数的斜率大时，数量型工具比价格型工具更有效。而 Lawrence H. Goulder et al.（2013）将 Weitzman M. L.的研究结论扩展到环境交易工具与环境税的比较优势研究中，当边际环境损失函数比边际减排成本函数更陡峭时，数量规制型方法更优越，反之亦然。而近十年来，许多学者（Pizer William A. 1999, 2002; Hoel Michael et al.,

2002; Newell Richard G. et al. 2003; Karp Larry S. et al., 2005 等)的研究表明, 边际减排成本函数比边际环境损失函数更陡峭, 因此, 他们认为碳税是一个更好的碳减排政策。吴力波等 (2014) 的模拟结果表明, MAC 曲线较为平坦, 所以数量规制型方法——排放权交易制度——更为有效, 认为在中国目前的阶段选择排放权交易工具来实现碳减排目标更合适。

从方法论角度看, 微观视角的环境经济政策文献主要利用 CGE 模拟不同环境政策的边际成本和边际收益, 进而比较不同环境政策的效率情况, 例如, Pizer W. A. (1999, 2002)、曹静 (2009)、石敏俊等 (2013、吴力波等 (2014) 等。但 G. Heutel et al. (2013) 认为环境政策主要是根据环境外部性理论来制定的, 大量文献从微观经济角度比较不同环境政策的效应, 进而比较环境政策的优劣, 忽略了环境政策与宏观经济之间的相互影响, 这样会使得研究结果遗漏重要的经济反馈效应。因此, 从 Nordhaus W. D. (1994) 将气候变化引入 Ramsey 模型开始, 越来越多的学者开始关注于环境与宏观经济的动态效应。早期研究不是在 RBC 的框架下进行分析, 例如, Bouman et al. (2000)、Kelly (2005) 等, 而近年来越来越多的学者利用 RBC 模型进行分析, 例如, Angelopoulos et al. (2010, 2013)、C. Fischer et al. (2011)、Y. Dissou et al. (2012) 和 G. Heutel (2012) 等。Fischer 和 Heutel (2013) 比较全面地综述了宏观经济方法应用于环境政策问题的研究。除上述文献外, B. Annicchiarico et al. (2015) 首次构建了一个新凯恩斯模型来探讨环境政策与宏观经济动态。另外, 其它的一些环境政策的新古典增长模型则主要集中在能源政策领域 (Kim et al., 1992; Davis et al., 2001)。

与现有文献相比, 本文在以下几个方面有所创新: (1) 国内主要从微观经济视角, 模拟不同环境政策下的边际减排成本和边际收益, 本文则从宏观经济视角, 构建了一个包含环境部门的新凯恩斯模型, 在一个框架下, 从理论上比较全面地揭示了不同环境政策影响环境质量、经济增长、社会福利的内在机理及传导机制; (2) 将单位产值污染量标准、排放许可证和环境税纳入到一个统一的框架内, 并在不同的经济发展阶段下, 进行政策优劣的比较分析; (3) 分析两种环境财政支出的环境、经济和福利效应, 并进一步探讨不同资金支持机制下, 环境财政支出的效应; (4) 在理论模型的基础上, 本文利用中国的相关数据校准模型参数, 模拟不同环境政策冲击对中国 CO₂ 排放量、经济与社会福利水平的动态影响。

三、理论模型

已有相关文献中, 与本文理论模型最为接近的是 B. Annicchiarico et al. (2015) 的模型, 但与其相比, 本文理论模型的不同之处体现在如下几个方面: (1) 引入家庭时间偏好冲击, 以往文献很少关注环境质量影响家庭时间偏好的问题, 环境灾难或者污染会改变家庭的跨期决策, 从而产生了储蓄的不确定性 (Hsun Chu et al., 2015)², 因此, 家庭时间偏好的不确定性也会对宏观经济与环境产生重要影响; (2) 引入扭曲性税收环境, B. Annicchiarico et al. (2015) 的模型存在于中性税收 (一次性总付税) 环境下³, 而根据 A. Heyes (2000)、P. A. Lawn (2003)、N. C. S. Sim (2006) 以及 C. S. Decker 和 Mark E. (2012) 等构建的环境宏观经济模型 “IS-LM-EE”, 财政政策 (税收政策) 的变化会引起环境均衡的变动⁴, 因此, 本文的理论模型中也引入商品税、劳动所得税和资本所得税等税收政策不确定性对宏观经济与环境的影响; (3) 引入政府减排活动, 尽管大部分的研究都把关注点集中在政府环境收入的经济周期效应方面 (Bovenberg、Goulder, 2002; K. Angelopoulos et al., 2010), 但是政府的公共

² Hsun Chu et al. (2015) 在其文章中指出: 如果环境主义者宣称全球变暖将会在不远的未来变得越来越严重, 那么, 可以预期到消费会上升, 储蓄会下降, 因为储蓄 (未来消费) 现在变成了不确定性问题。

³ B. Annicchiarico et al. (2015) 也在其论文的结尾处, 指出扭曲性税收环境下的环境政策与宏观经济动态是进一步的研究方向。

⁴ 有关环境宏观经济学及其财政政策对环境的影响的相关研究综述, 可参见卢洪友、许文立和许坤 (2016)。

减排支出仍然起着十分关键的作用⁵，因此，本文也引入政府的减排支出。

假设在一个封闭的经济中，存在一个无限期生存地、代表性家庭，家庭拥有资本和劳动，并在完全竞争的要素市场上进行供给。且该经济中有两种类型的厂商：一类是批发商或者中间产品生产商，数量为 N ，它们在要素市场上雇佣劳动和租借资本，生产有差别的中间产品；另一类是零售商或者最终产品生产商，且是唯一的，它购进中间产品作为投入，生产出最终产品，并在完全竞争的商品市场上出售给家庭。另外，政府由三个职能部门组成：环保部门、财政部门 and 中央银行。值得注意的是，中间产品厂商处于垄断竞争的市场环境中，价格具有粘性，本文采用 Dixit 和 Stiglitz (1977) 综合形式表示垄断竞争，并按照 Calvo (1983) 的定价方式刻画价格粘性。

(一) 代表性家庭行为

代表性家庭拥有劳动和资本，并进入完全竞争的要素市场，因此，家庭会获得劳动收入和资本利息，且家庭拥有企业，那么，家庭获得的总收入由劳动收入、资本利息与企业红利构成。但财政部门会对家庭收入征税，最终，家庭利用可支配收入从最终产品生产处购买商品。且家庭效用来自于商品消费、闲暇和政府提供的公共产品与服务，其跨期贴现效用函数采用如下 CES 形式

$$U = E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t S_t^C \left(\frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{L_t^{1+\psi}}{1+\psi} + h(G_t) \right) \quad (1)$$

其中， U 表示家庭的跨期贴现效用； E_t 表示期望算子； β 为主观贴现率； S_t^C 表示家庭的消费偏好冲击； C_t 表示家庭的消费量； L_t 为劳动供给量； S_t^L 为劳动供给冲击； σ 为相对风险厌恶系数； ψ 为劳动供给弹性。

家庭收入来源于劳动收入、物资资本利息、政府债券本息，且财政部门会对劳动收入征收劳动所得税，对物资资本利息征收资本所得税，对消费和投资征收商品税，而政府债券利息则免征税额。然后，家庭会作出将税收后可支配收入在消费、投资和购买政府债券之间配置的决策。那么，家庭所面对的预算约束为

$$(1 + \tau_c)P_t(C_t + I_t) + B_{t+1} = (1 - \tau_L)W_t L_t + (1 - \tau_K)R_t K_t + (1 + R_t^B)B_t \quad (2)$$

其中， P_t 为市场一般价格； I_t 为投资； B_t 、 B_{t+1} 为政府债券； R_t^B 为基准利率，即政府债券的无风险利率； R_t 为资本利率； W_t 为工资率； τ_c 、 τ_L 、 τ_K 分别为消费税率、工资所得税率和资本利得税率值得注意的是，劳动者在第 $t-1$ 期以债券面值购买政府债券 B_t ，并在第 t 期得到债券收入 $(1 + R_t^B)B_t$ ，在第 t 期债券面值购买政府债券 B_{t+1} ，在第 $t+1$ 期获得政府债券收入 $(1 + R_{t+1}^B)B_{t+1}$ ，以此类推。

设 $b_{t+1} = \frac{B_{t+1}}{P_t}$ ， $w_t = \frac{W_t}{P_t}$ ， $r_t = \frac{R_t}{P_t}$ ， $\pi_t = \frac{P_t}{P_{t-1}}$ 则家庭预算约束方程 (2) 可变形为

$$(1 + \tau_c)(C_t + I_t) + b_{t+1} = (1 - \tau_L)w_t L_t + (1 - \tau_K)r_t K_t + (1 + R_t^B)\frac{b_t}{\pi_t} \quad (2-1)$$

资本积累方程为

$$K_t = I_t + (1 - \delta)K_{t-1} \quad (3)$$

在公式 (2-1) - (3) 的约束下，求公式 (1) 的最优化问题，构造拉格朗日公式为

⁵ K. Angelopoulos et al. (2010) 在比较不同环境政策的宏观经济与福利效应时指出，不产生收入的单位排放标准管制相对于产生收入的环境税和可交易排放许可证来说，没有支持公共减排措施的能力，因此，单位排放标准管制具有一种相对劣势。

$$\mathcal{L} = E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[S_t^C \left(\frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{L_t^{1+\psi}}{1+\psi} + h(G_t) \right) + \lambda_{1t} \left[(1-\tau_L)w_t L_t + (1-\tau_K)r_t K_t + (1+R_t^B) \frac{b_t}{\pi_t} - (1+\tau_C)(C_t + K_t - (1-\delta)K_{t-1}) - b_{t+1} \right] \right] \quad (4)$$

解拉格朗日公式（4）得到下列一阶条件

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_t} = S_t^C C_t^{-\sigma} - \lambda_{1t}(1+\tau_C) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_t} = -S_t^C L_t^\psi + \lambda_{1t}(1-\tau_L)w_t = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K_t} = 0 \rightarrow \lambda_{1t}(1+\tau_C) = \lambda_{1t}(1-\tau_K)r_t + \beta^t E_t \lambda_{1t+1}(1+\tau_C)(1-\delta) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial b_{t+1}} = 0 \rightarrow \lambda_{1t} = \beta^t E_t \lambda_{1t+1}(1+R_t^B) \frac{1}{\pi_{t+1}} \quad (8)$$

从公式（6）得到

$$\lambda_{1t} = \frac{S_t^C}{(1+\tau_C)C_t^\sigma} \quad (9)$$

将公式（10）代入公式（7）得到劳动供给方程为

$$L_t^\psi = \frac{(1-\tau_L)w_t}{(1+\tau_C)C_t^\sigma} \quad (10)$$

将公式（10）代入公式（8）-（9），得到欧拉方程为

$$\frac{S_t^C}{C_t^\sigma} = \frac{S_t^C}{C_t^\sigma} \frac{(1-\tau_K)}{(1+\tau_C)} r_t + \beta^t E_t \frac{S_{t+1}^C}{C_{t+1}^\sigma} (1-\delta) \quad (11)$$

$$\frac{S_t^C}{C_t^\sigma} = \beta^t E_t (1+R_t^B) \frac{S_{t+1}^C}{\pi_{t+1} C_{t+1}^\sigma} \quad (12)$$

假设消费者偏好冲击服从 AR（1）过程，且其运动方程如下

$$\log S_t^C = (1-\rho_{sc})\log S^C + \rho_{sc}\log S_{t-1}^C + \epsilon_{sc,t} \quad (13)$$

其中， ρ_{sc} 为跨期消费偏好冲击的一阶自回归系数； $\epsilon_{sc,t}$ 为跨期消费偏好冲击外生冲击、商品税率外生冲击。 S^C 为跨期消费偏好冲击的稳态值。在不同的发展阶段，消费者的偏好也会存在差异，因此，本文利用消费者偏好冲击来表示消费市场发展阶段的不同。

（二）厂商行为

经济中的厂商由两类组成：一类是生产最终产品的厂商，最终产品生产以中间产品为要素，且只有一个典型的厂商；另一类是生产中间产品的厂商，而中间产品的生产则以资本和劳动为要素，市场中存在大量生产者，生产有差别的中间产品，处在垄断竞争的市场结构中。此外，最终产品被居民消费，劳动和资本被中间厂商使用，且最终产品市场和要素市场都是完全竞争结构。

1. 最终产品生产商

生产最终产品的代表性生产商以中间产品为要素，本文采用 Dixit 和 Stiglitz（1977）综合函数形式

$$Y_t = \left(\int_0^1 Y_{i,t}^{\frac{\varphi-1}{\varphi}} di \right)^{\frac{\varphi}{\varphi-1}} \quad (14)$$

其中, Y_t 为最终产品产量, $Y_{i,t}$ 为第 i 个中间产品厂商生产的中间产品产量, φ 为中间产品的替代弹性。

最终产品在产品市场中被居民消费, 那么, 最终产品生产者面对的最大化问题为

$$\max_{Y_{i,t}} P_t Y_t - \int_0^1 P_{i,t} Y_{i,t} di \quad (15)$$

其中, $P_{i,t}$ 为中间产品 $Y_{i,t}$ 的价格。将公式 (14) 代入公式 (15), 得到一阶条件

$$Y_{i,t} = Y_t \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^\varphi \quad (16)$$

公式 (16) 是中间产品 i 的需求函数, 且需求函数向右下方倾斜, 即 Dixit-Stiglitz 需求函数, 随着产品价格的上升, 产品的需求量下降。从公式 (16) 也可以看出, 随着经济总产量的上升, 中间产品需求也上升。

结合公式 (1) 和 (16), 得到

$$Y_t = \left(\int_0^1 \left[Y_t \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^\varphi \right]^{\frac{\varphi-1}{\varphi}} di \right)^{\frac{\varphi}{\varphi-1}} = \left((Y_t P_t^\varphi)^{\frac{\varphi-1}{\varphi}} \int_0^1 P_{i,t}^{1-\varphi} di \right)^{\frac{\varphi}{\varphi-1}} = Y_t P_t^\varphi \left(\int_0^1 P_{i,t}^{1-\varphi} di \right)^{\frac{\varphi}{\varphi-1}}$$

由上式可得到, 产品市场中的一般价格水平为

$$P_t = \left(\int_0^1 P_{i,t}^{1-\varphi} di \right)^{\frac{1}{1-\varphi}} \quad (17)$$

2. 中间产品

由于中间产品产商处在垄断竞争的市场结构中, 因此, 中间产品的生产者既可以通过调整生产要素数量来使得生产成本最小化, 也可以制定产品价格使得利润最大化。

第 i 个中间产品产商在要素市场上, 雇佣劳动 $L_{i,t}$ 和资本 $K_{i,t}$, 在生产技术 A_t 下生产, 生产函数采用 C-D 形式, 且具有规模报酬不变的性质。为了将环境污染负外部性引入模型, 本文参照 G. Heutel (2012) 和 B. Annicchiarico、F. Di Dio (2015), 第 t 期的污染存量 X_t 的负外部性会影响到生产率, 从而改变中间产品厂商的生产可能性曲线。因此, 生产函数的形式设定为

$$Y_{i,t} = [1 - \mathcal{X}(X_t)] A_t (K_{i,t})^\alpha (L_{i,t})^{1-\alpha} \quad (18)$$

其中, α 为资本份额; $\mathcal{X}(\cdot)$ 为污染存量的外部性程度, 且 $\mathcal{X}(X_t) = \gamma_0 + \gamma_1 X_t + \gamma_2 X_t^2$ 。且技术 A_t 的演化过程遵循下列 AR (1) 过程

$$\ln A_t = (1 - \rho_A) \ln A + \rho_A \ln A_{t-1} + \epsilon_{A,t} \quad (19)$$

其中, ρ_A 为技术冲击的一阶自回归系数, $\epsilon_{A,t}$ 为技术的外生冲击。技术冲击用来表征经济中生产技术的演变过程, 代表不同的技术水平。

假设中间产品厂商的污染排放量是其产量的一定比例 (G. Heutel, 2012; B. Annicchiarico、F. Di Dio, 2015), 且与企业的减排努力程度 $e_{i,t}$ 有关, 则企业的污染排放为

$$Z_{i,t} = (1 - e_{i,t}) \mu Y_{i,t} \quad (20)$$

μ 表示没有企业自主减排时的污染排放系数。根据 B. Annicchiarico、F. Di Dio (2015), 将中间产品生产商的减排成本设定与减排努力程度和产量有关:

$$C_{i,t}(e_{i,t}, Y_{i,t}) = \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} \quad (21)$$

其中, $\phi_1 > 0$, $\phi_2 > 1$ 是企业减排成本的技术参数。

按照污染者付费原则, 对于中间产品生产商来说, 排放污染物需要承担一定的成本, 而单位排放成本 $P_{Z,t}$ 与所实施的环境政策类型有关。

由于要素市场为完全竞争市场结构, 因此, 所有中间产品厂商有共同的要素价格: 工资率为 W_t , 资本利息率为 R_t 。单位污染排放成本为 $P_{Z,t}$, 且 $p_{Z,t} = \frac{P_{Z,t}}{P_t}$ 。且它们不能自由的调整产品价格来最大化收益, 但中间产品厂商选择劳动、资本与减排努力程度来最小化生产成本。因此, 中间产品厂商 i 面临的成本最小化问题为

$$\min_{K_{i,t}, L_{i,t}, e_{i,t}} TC_{i,t} = w_t L_{i,t} + r_t K_{i,t} + p_{Z,t}(1 - e_{i,t})\mu Y_{i,t} + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} \quad (22)$$

在公式 (18) 的约束下, 求公式 (22) 的最小化问题, 构造拉格朗日公式

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & w_t L_{i,t} + r_t K_{i,t} + p_{Z,t}(1 - e_{i,t})\mu Y_{i,t} + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} \\ & + \lambda_{2t} [Y_{i,t} - [1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t(K_{i,t})^\alpha (L_{i,t})^{1-\alpha}] \end{aligned}$$

其中, λ_{2t} 是拉格朗日乘子, 因此, 可以求得一阶条件为

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_{i,t}} = w_t - \lambda_{2t}[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t(K_{i,t})^\alpha (1 - \alpha)(L_{i,t})^{-\alpha} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K_{i,t}} = r_t - \lambda_{2t}[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t\alpha(K_{i,t})^{\alpha-1}(L_{i,t})^{1-\alpha} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial e_{i,t}} = -p_{Z,t}\mu Y_{i,t} + \phi_1 \phi_2 e_{i,t}^{\phi_2-1} Y_{i,t} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Y_{i,t}} = p_{Z,t}(1 - e_{i,t})\mu + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} - \lambda_{2t} = 0$$

重新排列上式得到

$$\lambda_{2t} = p_{Z,t}(1 - e_{i,t})\mu + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2}$$

$$w_t = \lambda_{2t}(1 - \alpha) \frac{Y_{i,t}}{L_{i,t}} \quad (23)$$

$$r_t = \lambda_{2t}\alpha \frac{Y_{i,t}}{K_{i,t}} \quad (24)$$

$$p_{Z,t} = \frac{\phi_1 \phi_2}{\mu} e_{i,t}^{\phi_2-1} \quad (25)$$

从公式 (23) 和公式 (24) 可以得到

$$\frac{w_t}{r_t} = \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right) \frac{K_{i,t}}{L_{i,t}} \quad (26)$$

从公式 (26) 可以看出, 每个中间产品厂商所选择的资本-劳动比率相同。那么, 将公式 (26) 代入公式 (18) 得到

$$K_{i,t} = \frac{Y_{i,t}}{[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t} \left[\frac{(1 - \alpha)r_t}{\alpha w_t} \right]^{\alpha-1} \quad (27)$$

$$L_{i,t} = \frac{Y_{i,t}}{[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t} \left[\frac{(1 - \alpha)r_t}{\alpha w_t} \right]^\alpha \quad (28)$$

则中间厂商的总成本为

$$\begin{aligned}
TC_{i,t} &= w_t L_{i,t} + r_t K_{i,t} + p_{z,t}(1 - e_{i,t})\mu Y_{i,t} + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} \\
&= \frac{Y_{i,t}}{[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t} \left[\frac{(1 - \alpha)r_t}{\alpha w_t} \right]^\alpha w_t + \frac{Y_{i,t}}{[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t} \left[\frac{(1 - \alpha)r_t}{\alpha w_t} \right]^{\alpha-1} r_t \\
&\quad + p_{z,t}(1 - e_{i,t})\mu Y_{i,t} + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} \\
&= \frac{Y_{i,t}}{[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t} \frac{r_t^\alpha}{w_t^{\alpha-1}} \frac{(1 - \alpha)^{\alpha-1}}{\alpha^\alpha} + p_{z,t}(1 - e_{i,t})\mu Y_{i,t} + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t}
\end{aligned}$$

则中间厂商的边际成本为

$$MC_{i,t} = \frac{\partial TC_{i,t}}{\partial Y_{i,t}} = \frac{1}{[1 - \mathcal{X}(X_t)]A_t} \frac{r_t^\alpha}{w_t^{\alpha-1}} \frac{(1 - \alpha)^{\alpha-1}}{\alpha^\alpha} + p_{z,t}(1 - e_{i,t})\mu + \phi_1 e_{i,t}^{\phi_2} \quad (29)$$

这就意味着，中间厂商的实际边际成本由额外一单位产出的生产要素成本、政府收取的排放税费和企业减排成本三个部分组成。且实际边际成本对于所有中间厂商均相同，所有中间厂商都由相同技术冲击，且所有的中间厂商在相同的要素价格下投入要素，而其最优减排努力程度也取决于相同的排污价格，因此都会选择相同的最优减排努力程度。

3. 价格粘性下的中间厂商最优定价

虽然中间厂商能设定中间产品价格来最大化利润，但它们并不能在每个时期都自由的调整价格。根据 Calvo (1983) 的假设，在每一时期，中间产品生产者都会以一个固定的概率来调整价格，也就是说，在所有的中间产品生产者中随机的挑选 $0 < 1 - \theta < 1$ 比例的厂商来调整其中间产品价格，并将第 t 期的价格设定在 $P_{i,t}^*$ ，余下的中间产品生产厂商则仍然保持上一期的价格 $P_{i,t} = P_{i,t-1}$ 。这就意味着，中间产品厂商并不能在每一期都自由调整产品价格，它们以一个固定的概率 $1 - \theta$ 来调整价格。这就意味着，一个中间产品厂商保持一期价格不变的概率为 θ ，保持两期价格不变的概率为 θ^2 ，以此类推。企业会将未来 j 期利润贴现，且随机贴现因子为 $(\beta)^j$ 。那么，在一个给定时期，以常概率来调整价格的中间厂商所面临的定价问题

$$\max_{P_{i,t}} E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j [P_{i,t} Y_{i,t} - P_{t+j} MC_{t+j} Y_{i,t}] \quad (30)$$

将公式 (16) 代入上式，得到

$$\max_{P_{i,t}} E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j Y_{t+j} \left[P_{i,t} \left(\frac{P_{t+j}}{P_{i,t}} \right)^\varphi - P_{t+j} MC_{t+j} \left(\frac{P_{t+j}}{P_{i,t}} \right)^\varphi \right]$$

上式对 $P_{i,t}$ 求导，解得一阶条件为

$$\begin{aligned}
E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j Y_{t+j} \left[(1 - \varphi)(P_{i,t})^{-\varphi} (P_{t+j})^\varphi + \varphi MC_{t+j} (P_{i,t})^{-\varphi-1} (P_{t+j})^{\varphi+1} \right] &= 0 \\
E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j \left[(1 - \varphi) Y_{t+j} \left(\frac{P_{t+j}}{P_{i,t}} \right)^\varphi + \varphi MC_{t+j} Y_{t+j} \left(\frac{P_{t+j}}{P_{i,t}} \right)^\varphi (P_{i,t})^{-1} P_{t+j} \right] &= 0 \\
E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j \left[(1 - \varphi) Y_{i,t} + \varphi MC_{t+j} Y_{i,t} (P_{i,t})^{-1} P_{t+j} \right] &= 0
\end{aligned}$$

那么，上式变形为

$$(1 - \varphi)E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j Y_{i,t} = -\varphi E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j MC_{t+j} Y_{i,t} (P_{i,t})^{-1} P_{t+j}$$

$$P_{i,t} = \left(\frac{\varphi}{\varphi - 1} \right) \frac{E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j Y_{i,t} MC_{t+j} P_{t+j}}{E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j Y_{i,t}} \quad (31)$$

$$P_{i,t}^* = \left(\frac{\varphi}{\varphi - 1} \right) \frac{M_{1,t}}{M_{2,t}} \quad (32)$$

其中,

$$M_{1i,t} = E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j U'(C_{t+j}) Y_{i,t} MC_{t+j} P_{t+j} = \frac{S_t^C}{C_t^\sigma} Y_{i,t} MC_t P_t + \beta\theta E_t M_{1i,t+1}$$

$$M_{2i,t} = E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta\theta)^j U'(C_{t+j}) Y_{i,t} = \frac{S_t^C}{C_t^\sigma} Y_{i,t} + \beta\theta E_t M_{2i,t+1}$$

结合一般价格水平, 即公式 (17)

$$P_t = \left(\int_0^\theta P_{t-1}^{1-\varphi} di + \int_\theta^1 P_t^{*1-\varphi} di \right)^{\frac{1}{1-\varphi}}$$

可以得到一般价格水平演化方程

$$P_t = (\theta P_{t-1}^{1-\varphi} + (1 - \theta) P_t^{*1-\varphi})^{\frac{1}{1-\varphi}} \quad (33)$$

(三) 政府

政府财政部门在第 t 期通过征税 TAX_t 和发行债务 B_{t+1} 取得收入, 并将其收入用于提供公共产品和服务 G_t 、治理环境污染 $G_{X,t}$ 、支付债务本息 B_t 。那么, 政府的预算约束为

$$\begin{aligned} P_t(G_t + G_{X,t}) + (1 + R_t^B)B_t &= TAX_t + B_{t+1} \\ TAX_t &= \tau_C P_t(C_{L,t} + I_t) + \tau_L W_t L_t + \tau_K R_t K_t + P_{Z,t} Z_t \\ P_t G_t + (1 + R_{t-1}^B)B_t &= \tau_C P_t(C_{L,t} + I_t) + \tau_L W_t L_t + \tau_K R_t K_t + B_{t+1} \end{aligned} \quad (34)$$

$$P_t G_{X,t} = P_{Z,t} Z_t \quad (35)$$

$$G_t = c_g C_t \quad (36)$$

其中, c_g 为政府一般公共支出对消费的敏感系数。

(四) 加总条件

根据一般均衡理论, 产品市场也应该实现均衡, 即需求等于供给

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + G_{X,t} \quad (37)$$

将公式 (16) 代入公式 (18) 可以得到

$$Y_t \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^\varphi = [1 - \chi(X_t)] A_t (K_{i,t})^\alpha (L_{i,t})^{1-\alpha}$$

两边对 i 积分得到

$$\begin{aligned} \int_0^1 Y_t \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^\varphi di &= \int_0^1 [1 - \chi(X_t)] A_t (K_{i,t})^\alpha (L_{i,t})^{1-\alpha} di \\ Y_t \int_0^1 \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^\varphi di &= [1 - \chi(X_t)] A_t \int_0^1 (K_{i,t})^\alpha (L_{i,t})^{1-\alpha} di = [1 - \chi(X_t)] A_t (K_t)^\alpha (L_t)^{1-\alpha} \end{aligned}$$

定义

$$\int_0^1 \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^\varphi di = v_t^p \quad (38)$$

可以将其理解为一种价格离差的测量。如果经济中不存在价格摩擦，那么，所有企业都会收取相同的价格，此时 $v_t^p = 1$ 。

$$Y_t = [1 - \mathcal{X}(X_t)] A_t (K_t)^\alpha (L_t)^{1-\alpha} (v_t^p)^{-1} \quad (39)$$

公式 (39) 是总生产函数。因为 $v_t^p > 1$ ，价格离散的结果就是产量损失。

根据一般价格方程

$$(P_t)^{1-\varphi} = \theta P_{t-1}^{1-\varphi} + (1-\theta) P_t^{*1-\varphi} \quad (40)$$

$$(\pi_t)^{1-\varphi} = \theta + (1-\theta) p_t^{*1-\varphi} (\pi_t)^{1-\varphi} \quad (41)$$

接下来，我们处理价格离散问题。同样，根据 Calvo (1983) 定价，有 $(1-\theta)$ 比例的中间厂商会调整到相同的最优价格 P_t^* ，另外 θ 比例的中间厂商仍保持前一期价格水平。因此，

$$v_t^p = \int_0^{1-\theta} \left(\frac{P_t}{P_t^*} \right)^\varphi di + \int_{1-\theta}^1 \left(\frac{P_t}{P_{i,t-1}} \right)^\varphi di$$

根据 Calvo (1983) 定价的性质，得到

$$v_t^p = (1-\theta)(p_t^*)^{-\varphi} + \theta(\pi_t)^\varphi v_{t-1}^p \quad (42)$$

其中， $p_t^* = \frac{P_t^*}{P_t}$ 。

由公式 (20) 可知，总的排放量为

$$Z_t = (1-b_t)\mu \int_0^1 Y_{i,t} di = (1-b_t)\mu Y_t v_t^p \quad (43)$$

由公式 (21) 可知，总的减排成本为

$$C_t = \phi_1 b_t^{\phi_2} \int_0^1 Y_{i,t} di = \phi_1 b_t^{\phi_2} Y_t v_t^p \quad (44)$$

此外，污染存量的演化过程由三个因素决定：一是自然降解，本文假设污染以一个线性比率 η 降解；二是环保部门的污染治理支出，且其治理效果系数为 ω ；三是厂商污染排放量。则环境演化方程为

$$X_t = \eta X_{t-1} + Z_t - \omega G_{X,t} \quad (45)$$

本文设置四种不同的环境政策情形，进而比较它们的宏观经济动态。

(1) 无环境政策情形：在没有环境政策的情形下，中间产品企业排污成本为 0，即 $P_{Z,t} = 0$ ，那么，企业也没有激励进行污染减排，即企业的污染减排努力程度 $e_{i,t} = 0$ ；

(2) 征收环境税情形：政府部门会对中间产品生产商的每单位污染物征收一个税率为 τ_P 的环境税，即 $P_{Z,t} = \tau_P$ ；

(3) 排放许可证情形：根据排放总量控制原则，政府部门会规定一个总的排放额，并按照每单位污染相当于一单位排放许可证向中间产品生产商拍卖，排放许可证的价格为 $P_{Z,t}$ ；

(4) 单位排放强度情形：根据单位排放强度原则，政府会宣布一个减排目标，并规定一个单位产值排放标准 ϑ ，此时，中间产品生产厂商排污量为 $\frac{Z_{i,t}}{Y_{i,t}} = (1-e_{i,t})\mu = \vartheta$ ，且政府仍会以价格 $P_{Z,t}$ 向企业出售排放许可证。

四、中国碳排放的周期性特征与参数校准

在这个部分，我们首先分析中国经济周期变化与 CO2 排放量周期变化，然后对为方程组 (45) — (70) 中的参数进行校准。本文所有数据来自于历年《中国统计年鉴》、《中国

能源统计年鉴》、Wind 数据库、世界银行数据库、IPCC 报告及前人研究成果。所有名义值都以 1978 年为基年转换成实际值。

（一）CO₂-GDP 周期变化趋势

碳排放数据根据中国历年能源消费量测算得到，测算公式为 $A = \sum B_i \times C_i$ ，其中 A 为 CO₂ 排放量（单位为 $10^4 tCO_2$ ）； B_i 为第 i 种能源消费量； C_i 为第 i 种能源的二氧化碳排放系数，本文参考 IPCC 的二氧化碳排放系数，计算得到煤、石油和天然气的二氧化碳排放系数分别为 $2.896 \times 10^4 tCO_2/10^4 t$ 标准煤、 $2.176 \times 10^4 tCO_2/10^4 t$ 标准煤、 $2.811 \times 10^4 tCO_2/10^4 t$ 标准煤。⁶图 1 中呈现了标准化的中国实际 GDP 和二氧化碳排放量，且以 1978 年为基年对数据进行标准化，即起始年份（1978 年）的值都是 1。⁷从图中可以看出，在 1978 年-2013 年间，中国的实际 GDP 和二氧化碳排放量都呈现出增长趋势，但是其增长率不同，且中国经济的二氧化碳排放强度在下降。从 1978 年-2013 年中国实际 GDP 增长 26 倍多，而二氧化碳排放量只增长 6 倍多。

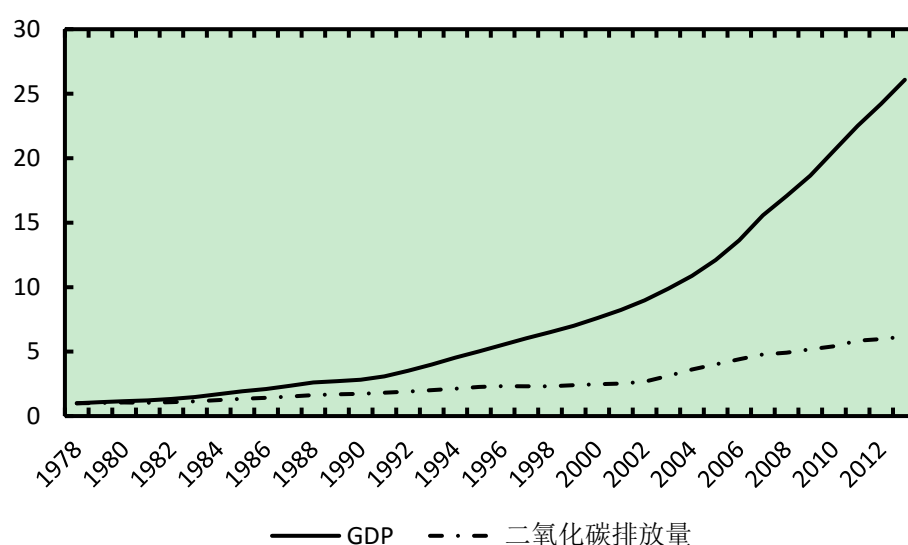


图 1 中国 1978-2013 年 GDP 和二氧化碳排放量

图 1 并没有显著地呈现出 1978-2013 年中国实际 GDP 和 CO₂ 排放量的周期效应，因此，本文将计算中国实际 GDP 和 CO₂ 排放量的周期成分。HP 滤波方法经常被用来消除时间序列的时间趋势，从而分离出周期成分。本文取中国实际 GDP 和 CO₂ 排放量的自然对数，并利用 HP 滤波得到两个序列的周期成分，且设定 HP 滤波的平滑参数（smoothing parameter） $\lambda = 100$ 。

图 2 中呈现了去趋势的中国实际 GDP 和 CO₂ 排放量两个序列的周期成分。从中国实际 GDP 周期曲线可以看出：中国经济衰退期发生在 1978-1982 年、1988-1991 年、1996-

⁶ 二氧化碳排放量单位为 $10^4 tCO_2$ ，中国的能源消费结构为煤、石油、天然气等，即 i =煤，石油和天然气，单位为万吨标准煤。《2006 年 IPCC 国家温室气体排放清单指南》中给出了各种能源的二氧化碳排放系数，但《中国能源统计年鉴》中只按照煤、石油、天然气等统计了年度能源消费量，因此，本文将 IPCC 中各种类型的煤、燃料油和燃料气的二氧化碳排放系数分别求出平均值作为煤、石油和天然气的二氧化碳排放系数，且按照 $10^4 t$ 标准煤 = $2.93 \times 10^5 GJ$ （赵敏等，2009）将 IPCC 中二氧化碳排放系数能量单位转换成标准煤单位。《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》（2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories）来源于：<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>。

⁷ 本文估计的中国二氧化碳排放量与世界银行数据库中收录的 1960-2010 年期间中国二氧化碳排放量的平均偏差在 5% 以内，另外匹配双样本 t 检验，显示 t 统计量为 -8.763， p 值为 0.000，说明两个样本数据来自同一总体。由于篇幅所限，本文没有列出中国 1953-2013 年 CO₂ 排放量估计值，如需可找作者索取，世界银行二氧化碳排放量数据来源于：<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT/countries>。

2004 年以及 2007-2013 年四个阶段；中国经济增长期发生在 1982-1988 年、1991-1996 年、2004-2007 年三个阶段。而从 CO₂ 排放量周期曲线可以看出：CO₂ 排放量下降期发生在 1978-1982 年、1988-1990 年、1995-2002 年以及 2007-2013 年四个阶段；CO₂ 排放量增长期发生在 1982-1988 年、1990-1995 年、2002-2007 年三个阶段。因此，中国 CO₂ 排放量周期与实际 GDP 周期基本同步发生。

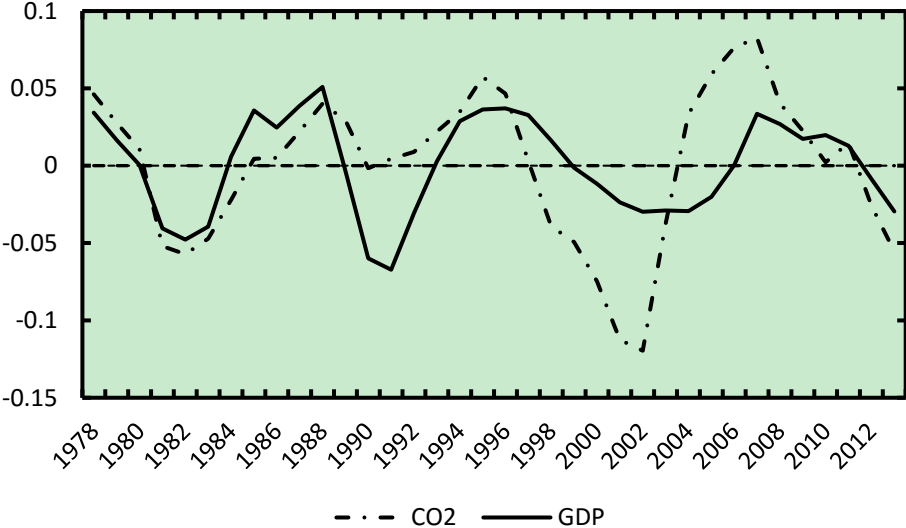


图 2 中国实际 GDP 和 CO₂ 排放量的周期成分

中国实际 GDP 的周期性波动标准差为 0.031，CO₂ 排放量的周期性波动标准差为 0.049，则 1978-2013 年期间，中国 CO₂ 排放量比中国实际 GDP 具有更大的波动性，尤其是在 1995-2007 年期间，CO₂ 排放量的标准差为 0.071。两个序列之间的相关系数为 0.99，p 值为 0.0000。中国的实际 GDP 和 CO₂ 排放高度相关，即随着实际 GDP 的增长，CO₂ 排放量也增长。

本文利用时间序列分析模型 ARIMA 来测算中国 CO₂ 排放量随着实际 GDP 增长的程度。表 2 中列出了 CO₂ 排放量与 GDP 的 ARIMA 模型回归结果。由于因变量和自变量都是自然对数，因此，回归系数表示 CO₂ 排放对于 GDP 的弹性。(1) 列显示中国 CO₂ 排放对于 GDP 的弹性为 0.601。在经济周期文献中 HP 滤波是最常用的趋势方法 (G. Heutel, 2012)，(2) 列是对中国 CO₂ 排放量和实际 GDP 数据经过 HP 滤波处理之后的周期成分得到的回归结果，结果显示 CO₂ 排放对于 GDP 的弹性在 1% 的置信水平下显著，且 HP 滤波去势后的弹性系数为 0.690 与 (1) 中得到的弹性系数相似。(3)-(4) 列是利用另外两种滤波 (BK Filter 和 CF Filter) 趋势后的回归结果，结果显示弹性系数为正，且显著。这表明中国 CO₂ 排放量是顺经济周期的，且 (1) - (2) 得出的回归结果非常稳健。

表 2 CO₂ 排放量与 GDP 的 ARIMA 模型回归结果

	(1) ARIMA	(2) HP Filter	(3) BK Filter	(4) CF Filter
LnGDP	0.601*** (2.7784)	0.690*** (3.2671)	0.535** (2.13)	0.445* (1.951)
Obs.	34	35	28	28

注：括号中为 t 统计值。表中的四个回归模型中的因变量都是 CO₂ 排放量的自然对数：(1) 中是原始对数值，ARIMA(1, 1, 2)；(2) 是利用 HP 滤波去势后的周期值，ARIMA(1, 0, 2)；(3) 是利用 BK 滤波

去势后的周期值, ARIMA(2, 0, 1); (4) 是利用 CF 去势后的周期值, ARIMA(1, 1, 1)。常数项和滞后项系数都省略。***, **, *分别表示在 1%, 5%, 10%的置信水平下显著。

(二) 参数校准

为了得到上文设定的新凯恩斯模型的数值型解, 需要获得模型中所有参数的值。从 DSGE 模型的参数估计文献来看, 主要有两条途径获得模型参数值: 一是利用经济历史数据估算或参考已有研究结果, 对模型参数进行校准; 二是利用计量方法(极大似然估计或贝叶斯估计)估计模型参数。本文利用第一种方式来校准模型参数, 即利用已有研究中国相应经济问题的经验结果, 并结合中国经济历史数据估算一些参数值, 这主要是因为校准是国内外大多数研究文献中使用的获得 DSGE 模型参数值的方法(王君斌、王文甫, 2010; 黄贇琳和朱保华, 2015; C. Junior、A. V. Sampaio, 2014; T. Schwarzmuller、M. H. Wolters, 2015 等)。但是, 需要说明的是第二种方法越来越受到研究者的青睐(S. Adjemian et al., 2011)。

国内学者对于中国主观贴现率的经验研究较少, 在校准中国 DSGE 模型的主观贴现率参数时, 陈昆亭等(2004a, b), 王君斌、王文甫(2010)等学者均采用 0.98, 但他们利用中国季度宏观经济数据匹配。黄贇琳(2005), 黄贇琳、朱保华(2015)等学者的主观贴现率校准值为 0.934, 且与中国年度宏观经济数据匹配。1978 年-2014 年, 中国居民消费物价指数年平均增长 5.2%, 因此, 本文校准的主观贴现率 β 为 0.948, 且这一参数值也与黄贇琳(2005), 黄贇琳、朱保华(2015)等学者较为接近。

对于生产函数中的资本份额参数, 国内许多学者利用不同方法估计中国的资本存量, 并测算出资本份额的范围在 0.5-0.7 之间, 本文取这个区间的平均值作为中国资本份额参数的校准值, 即 $\alpha = 0.6$ 。而且这一校准值也正好落入陈昌兵(2014)利用时变方法估计的区间内。而对于资本折旧率, 张军等(2004)估计在 4%-5%之间, 张健华、王鹏(2012)估计在 4.4%-6.1%之间, 陈昌兵(2014)则估算其为 5.6%, 而黄贇琳、朱保华(2015)校准的中国资本折旧率为 0.1, 大部分学者认为中国的资本折旧率在 5%左右, 因此本文选取 5%作为中国资本折旧率。

Zhang W.(2009)利用中国经济的历史数据, 采用 GMM 方法估计了中国的劳动供给弹性、中间厂商的价格粘性系数以及中间产品替代弹性分别为 6.16、0.5 和 6。王君斌、王文甫(2010)则引用了 Zhang W.(2009)估计的中间厂商价格粘性系数和中间产品替代弹性, 但他们认为中国的劳动供给弹性为 3。因此, 本文校准的中国劳动供给弹性、中间厂商的价格粘性系数以及中间产品替代弹性分别为 3、0.5 和 6。

我们根据已有的化学与经济学相关研究来校准 CO2 存量积累方程的相关参数。根据本文的 CO2 积累方程 $X_t = \eta X_{t-1} + Z_t - \omega G_{X,t}$, η 和 ω 为需要校准的参数, 分别表示 CO2 半衰期系数和政府治理效果。从前人研究成果来看, Nordhaus W.(1991)和 Falk I. and Mendelsohn R.(1993)都选取了 139 年的半衰期, 对应的半衰期系数为 0.995, Reily J.(1992)和 Heutel G.(2012)则都选取了 83 年作为 CO2 半衰期, 对应的半衰期参数为 0.992, 而 Moore B. and Braswell B.H.(1994)则选取了 19-92 年这个范围作为 CO2 半衰期, 对应的半衰期参数范围在 0.964-0.992 之间, IPCC(2001)则选取 5-200 年作为 CO2 半衰期, 对应的半衰期参数范围在 0.871-0.997 之间。正如 B. Annicchiarico et al.(2015)采用 Heutel G.(2012)的半衰期一样, 本文也采用 Heutel G.(2012)的 CO2 半衰期 83 年, 对应的参数值 $\eta = 0.992$ 。本文在后面部分, 将利用其他的半衰期参数值来进行敏感性分析。CO2 浓度对生产率的影响已经有许多学者估计(Nordaus, 1991, 2008; Stern, 2008; Heutel G., 2012), G.Heutel(2012)采用 DICE-2007 模型校准了相关参数, 对于本文的二次型 $\chi(X_t) = \gamma_0 + \gamma_1 X_t + \gamma_2 X_t^2$ 中的相关参数, 也以 G.Heutel 的参数值为本文的校准值, 见表 3。

对于环境税政策, 由于中国还未开征碳税或者环境税, 《中华人民共和国环境保护税法

《征求意见稿》》也并未规定碳税税率，因此，本文的碳税税率根据前人研究成果来确定。中国已有的研究结果显示，中国最优碳税在 18 元/吨碳—200 元/吨碳区间，而刘凤良和吕志华(2009)的研究结果则显示中国最优碳税税率在 0.381%-0.514%区间，本文采用曹静(2009)的研究结果，将中国未来的碳税税率规定在 2%，即 $\tau = 2\%$ 。中国 2020 年的二氧化碳单位 GDP 排放量比 2005 年降低 40%-45%，据此，本文将单位排放标准的校准值定为 $0.601 * (1 - 45\%) = 0.36$ 。而排放总量目标则根据中国政府宣布的 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值 100 亿吨-114 亿吨，测算的排放总量目标为基准情形二氧化碳排放稳态值的 0.9 倍。而根据朱华(2015)，本文将环境税率冲击一阶自回归系数和单位排放标准冲击一阶自回归系数分别校准为 0.6566 和 0.8。而排放总量冲击一阶自回归系数则利用中国 1953 年-2014 年二氧化碳排放量数据，采用 ARIMA 模型估计得到，其校准值为 0.996。

而对于中国商品税、劳动所得税和资本所得税的有效税率估计的文献大部分基于 Mengdoza et al. (1994) 的基础上之上，例如，梁红梅和张卫峰(2014)、刘沧容和马拴友(2002)等，此外，黄贇琳和朱保华(2015)也以刘沧容和马拴友估计的劳动所得税率和资本所得税率为其校准税率值进行中国税收政策的宏观经济效应分析。基于此，本文结合刘沧容和马拴友(2002)、梁红梅和张卫峰(2014)、黄贇琳和朱保华(2015)的有效税率值校准中国的商品税率、劳动所得税率和资本所得税率分别为 0.1284、0.051 和 0.266。且黄贇琳和朱保华(2015)校准的劳动所得税率冲击一阶自回归系数和资本所得税率冲击一阶自回归系数分别为 0.322 和 0.259，本文也利用这两个数值作为本文模型的校准值。而对于商品税率冲击一阶自回归系数，本文利用中国 1994 年-2014 年增值税、消费税与营业税之和除以消费、固定资产投资与住宅投资之和所得到的税率，采用 ARIMA 对上述时间序列进行回归得到，最终得到的校准值为 0.721。而财政支出的消费敏感系数则以 1978 年-2014 年财政支出占消费总额比重的回归系数 0.35 为校准值。模型中其他参数校准值见表 3 所示。

表 3 模型相关参数校准

参数	含义	参考值	参考文献	本文值
β	主观贴现率	0.98 0.934	陈昆亭等(2004a, 2004b) 黄贇琳(2005)，黄贇琳和朱保华(2015)	0.948
α	产量中资本份额	0.59-0.63 0.503 0.6921 0.463-0.503 0.5-0.61	陈昌兵(2014) 黄贇琳(2005) 郭庆旺和贾俊雪(2005) 张军等(2002,2003) 张帆(2000)	0.6
δ	资本折旧率	0.1 0.056 0.044-0.061 0.04-0.05	黄贇琳和朱保华(2015) 陈昌兵(2014) 张健华和王鹏(2012) 张军等(2004)	0.05
ψ	劳动供给弹性	3 6.16	王君斌和王文甫(2010) Zhang Wenlang(2009)	3
φ	中间产品替代弹性			6
ω	财政减排效果系数	0.5 0.228-0.444	K. Angelopoulos et al.(2010) 胡宗义、朱丽等(2014)	0.335
θ	价格粘性系数	0.5	Zhang Wenlang(2009)，王君斌和王	0.5

			文甫（2010）	
σ	相对风险厌恶系数	0.77 0.7	陈学彬等（2005） 黄贇琳（2005）	0.735
τ_C	消费税率	0.1284	梁红梅和张卫峰（2014）	0.1284
τ_L	劳动收入税率	0.051	黄贇琳和朱保华（2015）	0.051
τ_K	资本所得税率	0.266	黄贇琳和朱保华（2015）	0.266
τ_P	碳税率	0.38%-0.51% 18.28 元/tC 50-200 元/tC 19-46 元/tC	刘凤良和吕志华（2009） 姚昕和刘希颖（2010） 曹静（2009） 陈诗一（2011）	200 元/tC (2%)
ρ_{SC}	时间偏好冲击一阶自回归系数			0.9
ρ_A	技术冲击一阶自回归系数	0.72	黄贇琳和朱保华（2015）	0.72
ρ_{τ_L}	劳动所得税率一阶自回归系数	0.322	黄贇琳和朱保华（2015）	0.322
ρ_{τ_K}	资本所得税率一阶自回归系数	0.259	黄贇琳和朱保华（2015）	0.259
ρ_{τ_C}	商品税率一阶自回归系数			0.721
ρ_{τ_P}	环境税率一阶自回归系数	0.6566	朱军（2015）	0.6566
ρ_{θ}	单位排放标准一阶自回归系数	0.8	朱军（2015）	0.8
ρ_Z	排放总量一阶自回归系数			0.996
c_g	政府支出敏感系数			0.35
μ	排放系数			0.601
θ	强度目标		2020 年比 2005 年下降 40%-45%，按照下降 45%计算	0.36
Z	总量目标		2030 年 CO2 排放量达到峰值 101 亿吨当量-114 亿吨当量	基准稳态值的 0.89-0.91 倍
η	降解系数	0.995 0.992 0.995 0.964-0.992 0.871-0.997 0.992	Nordhaus W.(1991) Reily J.(1992) Falk I. and Mendelsohn R.(1993) Moore B. and Braswell B.H.(1994) IPCC(2001) Heutel G.(2012)	0.992

γ_0		1.3950e-3	Heutel G.(2012)、B. Annicchiaric, F. Di Dio(2015)	1.3950e-3
γ_1		-6.6722e-6	Heutel G.(2012)、B. Annicchiaric, F. Di Dio(2015)	-6.6722e-6
γ_2		1.4647e-8	Heutel G.(2012)、B. Annicchiaric, F. Di Dio(2015)	1.4647e-8
ϕ_1		0.185	B. Annicchiaric, F. Di Dio(2015)	0.185
ϕ_2		2.8	Nordaus (2008)	2.8

五、不同环境政策下宏观变量的稳态

在模型参数给定的情况下,利用 Dynare 软件平台⁸计算不同环境政策情形下(基准情形、环境税情形、排放强度控制情形和排放许可证情形下)的宏观经济变量与环境变量的稳态水平,以及三种环境政策情形与基准情形比较的稳态变化率,结果如表 4 所示。

从表 4 中的稳态结果可以看出,与理论预期一致,环境政策的实施,使得经济活动水平下降,环境政策下的产出与基准情形相比下降 10%,消费、投资、要素投入也出现不同程度的下降。这主要是因为环境政策使得中间生产企业增加额外的成本负担,正如前文的公式(29)所示,环境政策增加了中间生产企业的边际成本,即增加了边际排放成本和边际减排成本。中间生产企业对此的最优决策就是减少劳动和资本投入要素,从而降低要素成本,进而产出下降。在均衡中,家庭消费和投资均下降。从减排效果来看,环境政策的实施,一方面,激励企业自主减排,企业的减排支出增加,其占产出平均比重为 0.9751%,与此同时,公共减排支出也增加,其占产出平均比重为 3.4455%,另一方面,产出平均下降 10%,在两方面的共同作用下,污染排放量平均下降 27.0786%。由于环境政策使得排放减少,而由环境质量所引起的生产率损失则下降了 32.3614%。

表 4 宏观变量稳态水平及其变化率

宏观变量	基准情形	环境税情形	强度控制情形	排放许可证情形
C	3.12815	3.02781 (-3.2076%)	2.33082 (-25.4889%)	3.07071 (-1.8362%)
L	0.935167	0.93315 (-0.2157%)	0.917116 (-1.9302%)	0.93402 (-0.1227%)
w	2.24775	2.18035 (-2.9986%)	1.70779 (-24.0222%)	2.20918 (-1.7159%)
r	0.152756	0.152756 (0)	0.152756 (0)	0.152756 (0)
R_B	0.140165	0.140246 (0.0578%)	0.143645 (2.4828%)	0.140198 (0.0235%)
Y	5.25505	5.14821 (-2.0331%)	4.27655 (-18.6202%)	5.19478 (-1.1469%)
I	1.03205	0.998939 (-3.2083%)	0.76899 (-25.4891%)	1.01309 (-1.8371%)
G	1.09485	1.05973 (-3.2077%)	0.815789 (-25.4886%)	1.07475 (-1.8359%)
G_x	-	0.061731	0.360945	0.0362264
C	-	0.00310902	0.121477	0.00127264
X	449.148	383.234 (-14.6753%)	177.33 (-60.5186%)	402.796 (-10.3200%)
K	20.6409	19.9788 (-3.2077%)	15.3798 (-25.4887%)	20.2619 (-1.8362%)

⁸ Dynare 是处理许多经济模型的软件平台,尤其是解动态随机一般均衡模型(DSGE)和世代交叠模型(OLG)具有非常强大的功能。有关 Dynare 的详细信息可见 S. Adjemian et al. (2011)、T. M. Griffoli (2013) 或者 <http://www.dynare.org/>。

v^p	1.1377	1.13825 (0.0483%)	1.16347 (2.2651%)	1.13792 (0.0193%)
e	-	0.123591	0.485158	0.0895551
$M1$	10.776	10.564 (-1.9673)	9.04755 (16.0398%)	10.6553 (-1.1201%)
$M2$	11.3663	11.1405 (-1.9866%)	9.45937 (-16.7771%)	11.2381 (-1.1279%)
MC	0.878966	0.879076 (0.0125%)	0.883914 (0.5629%)	0.879011 (0.0051%)
Z	3.59319	3.08655 (-14.1%)	1.53956 (-57.1534%)	3.2345 (-9.9825%)
b	6.99262	6.7683 (-3.208%)	5.21028 (-25.4889%)	6.86421 (-1.8364%)
π	1.08088	1.08095 (0.0065%)	1.08417 (0.3044%)	1.08091 (0.0028%)
p^*	1.13767	1.1379 (0.0202%)	1.14776 (0.8869%)	1.13777 (0.0088%)
p_z	-	0.02	0.234448	0.0112

注：括号中为不同环境政策情形下，宏观变量与基准情形的变化率。

环境税情形与基准情形相比，**(1) 产出效应**，稳态产出下降 2.0331%，环境税使得企业的边际排放成本上升 0.02 单位，中间生产企业的减排成本增加 0.0031 单位，其最优决策是减少劳动投入 0.2157%，减少资本投入 3.2077%，从而导致企业的边际成本增长 0.0125%。

(2) 需求效应，环境税抑制了企业的生产活动，劳动需求下降，工资率下降 2.9986%，资本利率并未受影响，从而导致家庭要素收入下降，另一方面，产出的一部分被用作减排支出（包括企业自主减排支出和公共减排支出），因此，在均衡中，家庭对消费和投资的需求分别下降 3.2076%和 3.2083%。**(3) 通货膨胀效应**，从公式（29）可知，每一家中间生产企业的边际成本相同，而环境税的开征，增加了企业的边际成本，但由于价格粘性的存在，只有部分企业能调整至最优价格水平，因此在稳态下，中间生产企业的最优价格会上升 0.0202%，最终导致通货膨胀率上升 0.0065%。**(4) 环境效应**，环境税的征收，一方面，激励企业自主减排，其减排努力程度为 0.1236，减排支出为 0.0031，占产出的 0.0604%；另一方面，政府取得环境税收入后用于公共减排支出，其规模为 0.0617，占产出的 1.1991%，因此，在产出效应和减排效应的双重作用下，污染排放量下降 14.1%，污染存量下降 14.6753%。

在单位排放强度情形下，与基准情形相比，**(1) 产出效应**，新的均衡中，产出下降 18.6202%，中间生产企业的边际排放成本为 0.2344，减排成本为 0.1215，虽然劳动投入下降 1.9302%，资本投入下降 25.4887%，但其边际成本仍上升 0.5629%。**(2) 需求效应**，在新的均衡中，劳动需求的下降导致均衡工资率下降 24.0222%，劳动收入下降，而产出中的一部分用于减排支出，因此，家庭的消费支出和投资支出分别下降 25.4889%和 25.4891%。**(3) 通货膨胀效应**，中间生产企业边际成本的上升，会刺激其提高最优定价，而由于价格粘性的存在，最终通货膨胀率上升 0.3044%。**(4) 环境效应**，政府规定单位排放标准时，中间生产企业会大幅提高其减排努力程度至 0.4852，因此，企业减排支出也大幅增长，占产出的 2.8405%，而公共减排支出也大幅增加，占产出的 8.4401%，因此，污染排放量下降 57.1534%，污染存量下降 60.5186%。

在排放许可证情形下，与基准情形相比，产出下降 1.1469%，劳动投入下降 0.1227%，资本投入下降 1.8362%，消费下降 1.8362%，投资下降 1.8371%，通货膨胀率上升 0.0028%，污染排放量下降 9.9825%，污染存量下降 10.32%。

综上所述，与基准情形相比，环境税政策和排放许可证政策下，产出分别下降 2.0331%和 1.1469%，但污染排放量则下降 14.1%和 9.9825%，而单位排放标准下，虽然污染排放量大幅下降 57.1534%，但其付出的经济损失达到 18.6202%。从本文的不同环境政策的宏观效应比较来看，环境税政策与排放许可证政策存在一定的差异，这与 Weitzman (1974)、K. Angelopoulos et al. (2010)、C. Fischer 和 M. Springborn (2011) 的研究结论不一致，他们的研究均基于完全竞争市场，价格型环境政策工具和数量型环境政策工具等价，而本文的市场

环境存在价格粘性,因此,环境税政策与排放许可证政策存在差异。但排放强度政策下,本文的研究结果与 K. Angelopoulos et al. (2010) 的研究结果一致,而 C. Fischer 和 M. Springborn (2011) 的研究结果相反,其研究显示,达到同样排放目标时,排放强度政策下的经济损失更小。

六、市场不确定性下宏观变量的动态

上一节分析了不同环境政策下宏观变量的稳态及其变化率,其属于静态分析框架,不能显示模型的动态性质。因此,本节分析不同环境政策下模型中各变量面对市场不确定性时的最优响应路径。首先,本节分析宏观变量对两种临时性冲击——家庭偏好冲击和技术冲击——的动态响应路径。然后,在不同价格粘性条件下,计算了宏观变量面对同样两种临时性冲击时的理论矩。⁹

接下来,采用脉冲响应函数分析不同市场冲击下,宏观变量的变化方向、变化程度,以及动态演变路径。脉冲响应函数呈现了各宏观变量对家庭偏好冲击和技术冲击的动态路径。本文在 $t=1$ 时期分别给予家庭偏好冲击和技术冲击一个标准差的变动,即是说, $\epsilon_{SC,t} = 1$, $\epsilon_{A,t} = 1$ 。然后,计算出模型中所有宏观变量随时间演化的响应值。模拟的时间跨度为 50 期。且脉冲响应图中呈现的是宏观变量的稳态偏离百分比。

(一) 家庭偏好冲击

不同环境政策下,宏观变量对家庭偏好冲击的响应呈现在图 3 中。家庭偏好的正向冲击,即时间贴现率提高时,正如预期,产出、劳动、资本存量与投资等经济活动均立即出现下降,而消费则立即出现正向调整¹⁰。导致这一结果的逻辑十分直观:更高的时间贴现率使得家庭更偏好当期消费¹¹,因此,储蓄(投资)更少,投资的下降直接引起资本存量的下降。而较高的时间贴现率,又使得家庭偏好转向当期闲暇,而提供更少的劳动。在均衡中,要素市场上劳动和资本供给减少,中间厂商提高工资率与资本利率,因此,中间厂商的边际成本上升,但是由于价格粘性的存在,有一部分中间厂商不能将其最优产品价格提高到新的边际成本,因此,中间厂商的最优反应是降低资本存量和劳动投资,最终减少产量。因为家庭偏好冲击

⁹ 所有的模拟结果均利用稳态值附近的二阶泰勒近似方法得到,且模型被 Dynare 软件解出,从而获得全部数值结果。二阶泰勒近似方法,或者叫做扰动法 (perturbation method),是利用隐函数定理建立确定性稳态附近的泰勒级数来近似模型的解。扰动法可以得到模型更加精确的解。扰动方法在物理学和其他自然科学领域的应用已经有很长的历史,但是直到 Judd 和 Guu (1993) 才开始在经济学中普及,并被 Judd (1998)、Judd 和 Guu (2001)、Jin 和 Judd (2002) 发展,随后逐渐成熟,有关扰动法在 DSGE 模型解法中的详细介绍,可参见 Jesús Fernández-Villaverde et al. (2016)。

¹⁰ E. V. Dioikitopoulos et al. (2016) 的研究表明,高时间贴现率会导致低储蓄,低环境质量和低增长,并形成“高贴现率-低储蓄-低环境质量-低增长”的恶性循环。

¹¹ I. Schumacher (2009) 研究了内生时间贴现率问题,其研究结果显示了家庭越贫穷,就会越偏好增加消费必需品来维持生活,那么,家庭的不耐心(即高时间贴现率)会使得其偏向当期消费。

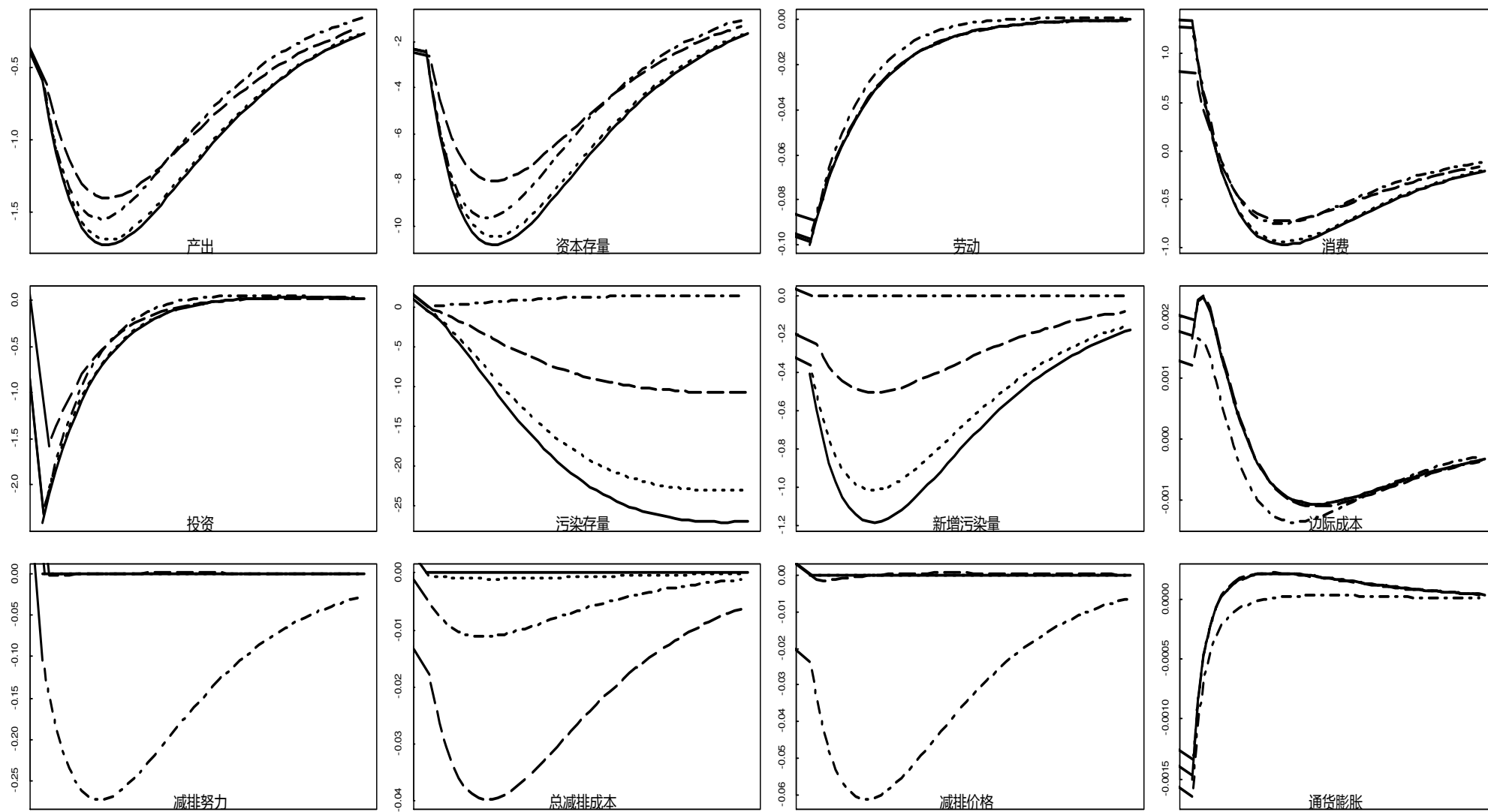


图 3 不同环境政策体系下宏观变量对家庭偏好冲击的响应

说明：（1）图中冲击模拟结果共 50 期，水平轴为时期变化，纵轴为偏离百分比；（2）实线为无环境政策的基准情形，点线为征收固定比例环境税的情形，点虚线为控制排放总量情形，虚线为控制生产排放标准的情形。

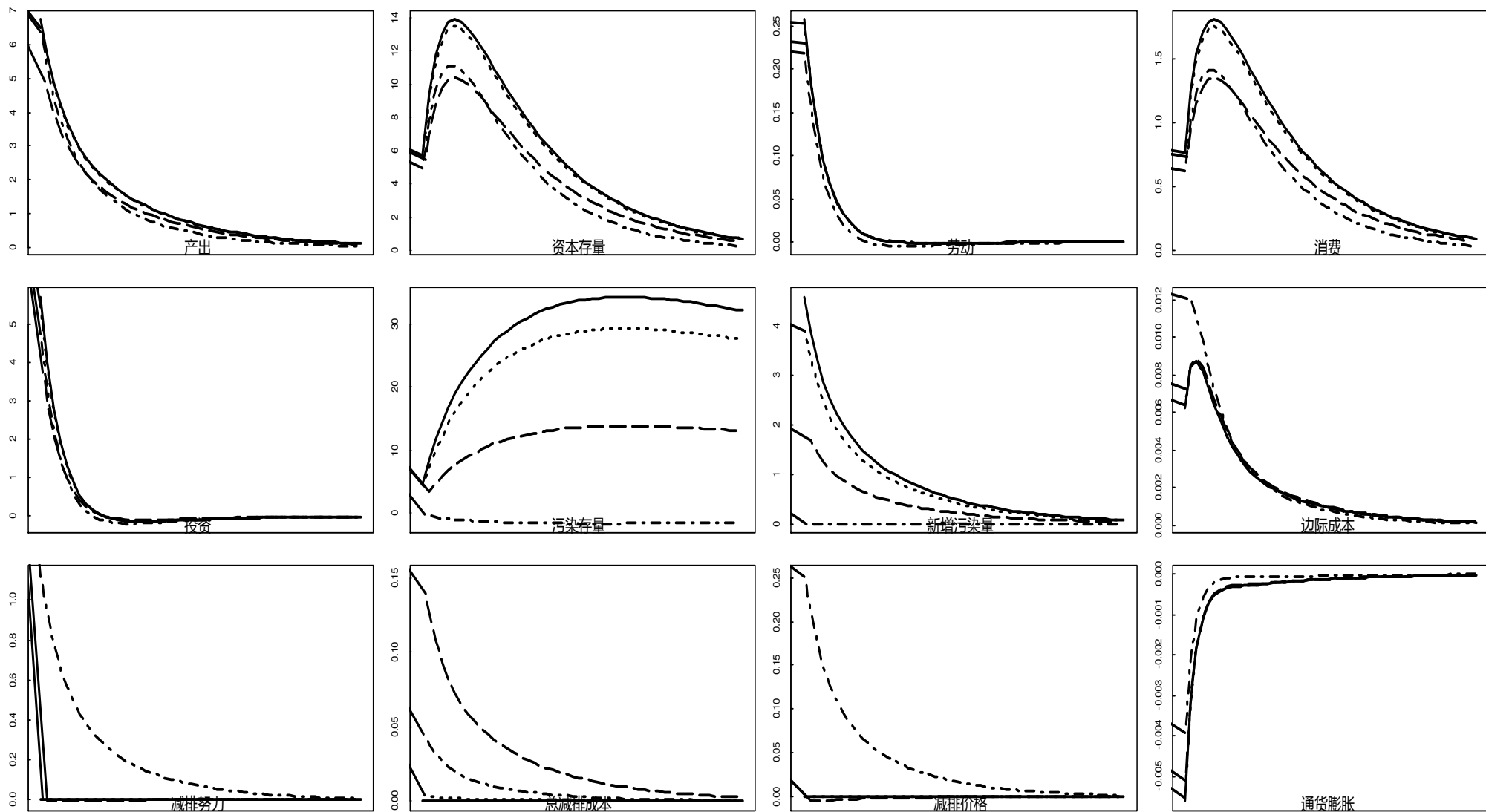


图 4 不同环境政策体系下宏观变量对技术冲击的响应

说明：(1) 图中冲击模拟结果共 50 期，水平轴为时期变化，纵轴为偏离百分比；(2) 实线为无环境政策的基准情形，点线为征收固定比例环境税的情形，点虚线为控制排放总量情形，虚线为控制生产排放标准的情形。

是临时性的，家庭在动态调整过程中，会发现其最优决策仍然是增加劳动供给，并增加储蓄（投资），因此，劳动和投资的响应路径呈现出一直上升回到稳态水平。而由于资本折旧的影响，投资的回升并不会立即补偿资本折旧，资本存量就出现了 U 型变化路径，并最终导致产出也出现 U 型动态调整。由于家庭增加储蓄，消费也会出现下降，消费最低点出现在其稳态水平以下，然后逐期上升回到稳态水平，呈现 U 型调整路径。

在不同环境政策情形下，主要宏观经济变量对家庭偏好冲击的响应有所差异。第一，在环境税情形下，产出、资本、劳动、消费、投资和边际成本的动态响应与基准情形基本相同，这是因为环境税政策使得企业面临固定的边际排放成本，因此，企业的最优生产决策不受影响，经济的动态行为与基准情形相同。第二，在可交易排放许可证制度下，即排放总量控制情形下，环境规制部门规定企业的污染物排放总量为固定值，那么，企业在面对家庭偏好正向冲击时，经济出现衰退，随着产出的收缩，企业排放的污染物也减少，那么，企业有更大的生产决策空间来抵御产出下降，最终表现为产出下降幅度比基准情形更小，但同时消费的扩张幅度也较小。第三，在单位排放标准情形下，企业的污染物排放量随产出下降而减少，因此，经济动态响应趋势与基准情形相似，但单位排放标准使得经济衰退幅度最小。

接下来，分析污染物相关变量的动态响应。从图 3 中可以明显的看出，家庭偏好的正向冲击引起污染物排放量下降，这是由于本文假设污染物排放量与产出之间呈现一定比例关系，正如上文公式（20）所示，这一结果在基准情形、环境税情形和单位排放标准情形下没有趋势上的差异。而在可交易排放许可证制度下，家庭偏好的正向冲击对企业污染物排放量没有影响，这是因为可交易排放许可证制度规定企业的排放总量，只要企业污染排放量在规定总量内，企业可以自由作出生产和减排决策，从而减缓家庭偏好冲击的不利影响，此时企业会最大限度的排放污染物。而企业的减排努力也会松懈，减排成本下降，那么，为了满足环境规制，企业购买排放许可证就没有优势，这导致排放许可证需求下降，从而引起排放许可证价格下降。最终，更少的资源会用于减排活动，这又会减缓由家庭偏好正向冲击引起的衰退效应。

在环境税情形下，中间厂商面临固定的排放价格，因此，其最优减排努力也是恒定的。因此，从中间厂商的排放动态行为来看，其与基准情形下相同，即家庭偏好冲击并不会引起中间厂商的排放价格和减排努力偏离其稳态水平。

在单位排放标准情形下，与可交易许可证制度情形相同，家庭偏好的正向冲击会引起中间厂商减排努力的负向调整，同时也引起排放价格的负向调整，只是其负向调整程度较小。为了解释中间厂商的减排动态行为，就需要从其调整价格的动态行为入手考虑。从上文的分析可以知道，家庭偏好的正向冲击引起厂商边际成本上升，那么，厂商的最优决策应该是提高其产品价格至新的边际成本。但是在本文中，由于中间厂商处在名义价格粘性的市场环境中，也就是说，只有一部分中间厂商可以提高其产品价格至最优价格。这就使得中间厂商在产品销售环节产生异质性，而这种异质性所产生的价格离差影响到中间厂商的减排努力决策，如公式（43） $\theta = Z_t/Y_t = (1 - b_t)\mu v_t^p$ 所示。在单位排放标准控制情形下，公式（43）意味着 $b_t = 1 - \theta/\mu v_t^p$ ，从这个表达式中能清晰的看出由名义价格粘性引起的价格离差对中间厂商减排努力的影响。由价格离差定义式（38）可知，家庭偏好的正向冲击引起价格离差的下降，意味着中间产品价格越高¹²，最终厂商对中间产品的需求下降，中间厂商减少产出，其为了满足单位排放标准而进行的减排努力行为也会相应下降。而面对收缩性冲击，与环境税情形相比，更低的减排努力也就意味着更高污染排放量。

（二）技术冲击

前一部分分析了家庭偏好冲击对宏观经济与环境变量的动态影响，即宏观变量对需求冲击的响应。接下来，我们考虑供给冲击对宏观变量的影响，并关注于技术的正向冲击对宏观经济与环境的动态影响。

¹² 价格离差定义为 $\int_0^1 \left(\frac{P_t}{P_{it}}\right)^{\varphi} di = v_t^p$ ，由于最终产品市场为完全竞争市场，最终厂商为价格的接受者，即对于最终厂商来说， P_t 是固定的，那么，价格离差 v_t^p 的下降就意味着中间产品价格 $P_{i,t}$ 提高。

图 4 呈现了四种不同环境政策情形下宏观变量对技术冲击的动态响应路径。

在四种环境政策情形下,面对临时性技术正向冲击,产出、劳动、资本、消费、投资等主要宏观经济变量以及污染存量与排放量等环境变量均出现正向调整,表现出顺周期性。在初始时期,生产率外生地提高,随着时间的推移,生产率由以 0.72 的速率衰减,并回到稳态水平。产出、劳动和投资均立即出现提高,且随着生产率衰减而下降,逐渐回到稳态水平。但产出的下降速率与路径并不完全与生产率演化路径完全一致,这是由于,技术冲击同时也影响到了家庭对消费和储蓄的决策。资本也立即出现正向调整,但其最大值并不是出现在时期 1,而是滞后于第 6 期出现,这是因为在调整的初期随着投资的增加,资本也积累更多,但第 6 期之后,投资增量小于资本折旧部分,资本又开始下降,逐渐回到稳态水平。同样地,消费也随着生产率地提高而增加,但是其最大值也出现在第 6 期。消费与生产率最大值之间的滞后是由于消费在每一期都受到资源约束,其依赖于资本存量,因此与资本存量的变化路径相同。生产率的提高引起了中间厂商边际成本的上升,除了环境政策所导致的减排边际成本提高外,污染存量的增加也导致了生产率的损失,上述两方面的边际成本上升超过生产率提高所引起的边际成本下降,如公式(29)所示¹³。

正如在家庭偏好冲击中所观察到的结果,环境政策抑制了技术正向冲击的经济扩张效应,这是因为环境政策给企业带来额外的边际成本,且需要利用一部分产出来支持减排活动。其中,可交易排放许可证制度抑制技术冲击引起的经济波动效果最大,这与 C. Fischer 和 M. Springborn (2011) 的结论一致¹⁴。

接下来,我们分析不同环境政策情形下环境相关变量对技术冲击的响应。从污染存量和污染流量变化路径来看,除了可交易许可证制度外,其余三种环境政策下污染存量和流量对技术冲击的动态响应较为相似。污染排放量的动态演化路径与生产率演化路径一致,从初期的最高点逐渐下降回复到稳态水平。虽然生产率的正向冲击,引起了政府减排支出的增加,这会对污染存量产生负向效应,但是生产率的提高也使得产出增加,这就意味着污染排放量增加,进而污染存量增加。从理论上讲,上述两方面的作用使得污染存量的变化方向不确定。但从图 4 可以看出,除可交易许可证制度外,其余三种环境政策情形下,生产率的正向冲击使得污染存量立即提高。这说明,减排的价格效应比收入效应大,一方面生产率的提高带来收入的增加,收入效应意味着这会减少污染存量的需求增加¹⁵,另一方面污染减排的机会成本变得更高,价格效应则反映出污染排放的需求增加¹⁶。而从污染存量的动态响应路径来看,呈现出与生产率变化相反的趋势,污染存量长时间呈现上升趋势,直到 40 期后才出现最大值,且在本文所分析的 50 期内,未呈现出明显的下降趋势。这主要是因为二氧化碳在大气中的降解率非常低($\eta = 0.992$),每一期的二氧化碳排放量均需要一个较长的自然降解过程。

在环境税情形下,企业的边际排放成本固定,因此,企业的最优减排努力也固定,反映在图 4 中就是排放价格与减排努力并未受技术冲击影响。但是由于产出的增长以及价格离散程度的下降,企业减排程度只是略微上升。

在单位排放标准情形下,由于企业的排放量随着其产出成比例变化,因此,产出增长也伴随着排放量增加,许可证价格下降,减排努力也下降。而总量控制情形则与单位排放标准情形相反,由于企业排放总量固定,正向技术冲击刺激产出提高,企业对许可证的需求增加,许可证价格上升,且企业需要更多的资源用于减排,减排努力也上升。

¹³ 本文的这一结果与 B. Annicchiarico et al. (2015) 不一致, B. Annicchiarico et al. (2015) 的研究结果显示,生产率的提高会使得企业有更低的边际成本。这主要是由于他们的研究文献中环境质量对技术冲击的响应较小,其对生产率造成的损失也较小。

¹⁴ C. Fischer 和 M. Springborn (2011) 利用 RBC 模型研究不同环境政策实现相同减排目标的绩效时发现,除排放物约束的影子价格外,许可证制度减轻了技术冲击对所有宏观变量的效应。

¹⁵ 许多研究指出,优良的环境是一种正常品,随着收入的提高,对其需求也会增加,例如 Frederik、Lundström (2001), G. Heutel (2012) 和 Holkos、Paizanos (2015) 等。

¹⁶ 由于污染排放与产出呈比例关系,降低污染排放量意味着产出的下降,而在高生产率下,产出也会更高,此时,减少污染排放的机会成本也会更高,因此,减排需求量下降。

表 5 不同环境政策与不同价格粘性下宏观变量的均值

	$\theta = 0.5$				$\theta = 0.25$				$\theta = 0.75$			
	基准情形	环境税情形	排放标准情形	总量控制情形	基准情形	环境税情形	排放标准情形	总量控制情形	基准情形	环境税情形	排放标准情形	总量控制情形
Y	5.2551	5.1482	4.2765	5.1948	5.1835	5.0773	4.1992	5.13	5.3783	5.2704	4.4079	5.3039
C	3.1282	3.0278	2.3308	3.0707	3.0856	2.9859	2.2862	3.0345	3.2015	3.1	2.4067	3.1308
L	0.9352	0.9331	0.9171	0.934	0.9343	0.9323	0.9159	0.9333	0.9366	0.9346	0.9191	0.9352
w	2.2477	2.1803	1.7078	2.2092	2.2192	2.1522	1.6772	2.1849	2.2969	2.2288	1.7597	2.2496
r	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528	0.1528
R_B	0.1402	0.1402	0.1436	0.1402	0.2358	0.2359	0.2432	0.2358	0.0888	0.0888	0.0902	0.0888
I	1.032	0.9989	0.769	1.0131	1.018	0.9851	0.7543	1.0012	1.0562	1.0228	0.794	1.0329
G	1.0949	1.0597	0.8158	1.0747	1.0799	1.0451	0.8002	1.0621	1.1205	1.085	0.8424	1.0958
G_x		0.0617	0.3609	0.0362		0.0612	0.3586	0.0323		0.0626	0.3648	0.0443
c		0.0031	0.1215	0.0013		0.0031	0.1222	0.0011		0.0032	0.1202	0.0018
X	449.1482	383.2339	177.3301	402.7957	445.317	379.9072	173.947	402.3988	455.6992	388.9215	183.0808	402.6316
K	20.6409	19.9788	15.3798	20.2619	20.3598	19.7022	15.0851	20.023	21.125	20.455	15.8807	20.6587
v ^p	1.1377	1.1382	1.1635	1.1379	1.1436	1.1441	1.1706	1.1438	1.1278	1.1284	1.1517	1.1281
e		0.1236	0.4852	0.0896		0.1236	0.4883	0.084		0.1236	0.4799	0.1002
M1	10.776	10.564	9.0476	10.6553	7.1759	7.0334	5.9962	7.1034	20.2083	19.8163	17.0743	19.9364
M2	11.3663	11.1405	9.4594	11.2381	7.7689	7.6134	6.4425	7.69	20.9892	20.5775	17.566	20.7042
MC	0.879	0.8791	0.8839	0.879	0.8745	0.8746	0.8791	0.8745	0.8866	0.8868	0.892	0.8867
Z	3.5932	3.0866	1.5396	3.2345	3.5625	3.0598	1.5117	3.23	3.6456	3.1324	1.5869	3.2359
b	6.9926	6.7683	5.2103	6.8642	6.8974	6.6746	5.1105	6.7833	7.1566	6.9296	5.38	6.9986
π	1.0809	1.081	1.0842	1.0809	1.1715	1.1717	1.1785	1.1716	1.0321	1.0322	1.0335	1.0322
p^*	1.1377	1.1379	1.1478	1.1378	1.1084	1.1086	1.1169	1.1085	1.1554	1.1556	1.1664	1.1555
p_z		0.02	0.2344	0.0112		0.02	0.2372	0.01		0.02	0.2299	0.0137

表 6 不同环境政策与不同价格粘性下宏观变量的标准差及相对标准差

	$\theta = 0.5$							
	基准情形		环境税情形		排放标准情形		总量控制情形	
	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$
Y	16.1530	1	15.8296	1	13.1959	1	14.1065	1
C	8.1482	0.5044	7.8909	0.4985	6.1095	0.4630	6.1248	0.4342
L	0.4287	0.0265	0.4279	0.0270	0.4214	0.0319	0.3672	0.0260
w	6.1029	0.3778	5.9226	0.3741	4.6633	0.3534	4.6060	0.3265
r	0.2568	0.0159	0.2568	0.0162	0.2572	0.0195	0.2323	0.0165
R_B	0.2095	0.0130	0.2095	0.0132	0.2104	0.0159	0.1895	0.0134
I	9.3551	0.5792	9.0557	0.5721	6.9833	0.5292	7.9782	0.5656
G	2.8519	0.1766	2.7618	0.1745	2.1383	0.1620	2.1437	0.1520
G_x			0.1884	0.0119	1.0961	0.0831	1.7929	0.1271
\mathcal{C}			0.0095	0.0006	0.3626	0.0275	0.1014	0.0072
X	433.0023	26.8063	370.1218	23.3816	173.9851	13.1848	21.6176	1.5325
K	71.1093	4.4022	68.8502	4.3495	53.1920	4.0309	56.8789	4.0321
v^p	0.0301	0.0019	0.0302	0.0019	0.0355	0.0027	0.0202	0.0014
e			0	0	0.0157	0.0012	2.4623	0.1746
M1	30.3327	1.8778	29.7467	1.8792	25.5433	1.9357	26.2099	1.8580
M2	32.1455	1.9901	31.5181	1.9911	26.8381	2.0338	27.7273	1.9656
MC	0.0233	0.0014	0.0233	0.0015	0.0240	0.0018	0.0289	0.0020
Z	10.9647	0.6788	9.4216	0.5952	4.7505	0.3600	0	0
b	18.7138	1.1585	18.1207	1.1447	13.9885	1.0601	15.5691	1.1037
π	0.0072	0.0004	0.0072	0.0005	0.0072	0.0005	0.0052	0.0004
p^*	0.0213	0.0013	0.0214	0.0014	0.0228	0.0017	0.0154	0.0011
p_z			0	0	0.0137	0.0010	0.5543	0.0393
	$\theta = 0.25$							
	基准情形		环境税情形		排放标准情形		总量控制情形	
	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$
Y	15.8597	1	15.5390	1	12.8843	1	13.9021	1
C	7.9907	0.5038	7.7360	0.4978	5.9458	0.4615	6.0584	0.4358
L	0.4278	0.0270	0.4270	0.0275	0.4203	0.0326	0.3678	0.0265
w	5.9949	0.3780	5.8161	0.3743	4.5491	0.3531	4.5621	0.3282
r	0.2566	0.0162	0.2566	0.0165	0.2570	0.0199	0.2325	0.0167
R_B	0.2272	0.0143	0.2272	0.0146	0.2289	0.0178	0.2057	0.0148
I	9.2205	0.5814	8.9233	0.5743	6.8435	0.5312	7.9019	0.5684
G	2.7967	0.1763	2.7076	0.1742	2.0810	0.1615	2.1205	0.1525
G_x			0.1864	0.0120	1.0889	0.0845	1.7137	0.1233
\mathcal{C}			0.0094	0.0006	0.3669	0.0285	0.0902	0.0065
X	427.2170	26.9373	365.0841	23.4947	168.8770	13.1072	20.6630	1.4863
K	69.8863	4.4065	67.6469	4.3534	51.9188	4.0296	56.3082	4.0503

v^p	0.0198	0.0012	0.0199	0.0013	0.0235	0.0018	0.0115	0.0008
e			0	0	0.0103	0.0008	2.4797	0.1784
M1	21.1978	1.3366	20.7830	1.3375	17.7499	1.3776	18.5756	1.3362
M2	22.9972	1.4500	22.5434	1.4508	19.1129	1.4834	20.1209	1.4473
MC	0.0152	0.0010	0.0152	0.0010	0.0157	0.0012	0.0192	0.0014
Z	10.8484	0.6840	9.3199	0.5998	4.6383	0.3600	0	0
b	18.4047	1.1605	17.8165	1.1466	13.6652	1.0606	15.4172	1.1090
π	0.0080	0.0005	0.0080	0.0005	0.0080	0.0006	0.0046	0.0003
p^*	0.0093	0.0006	0.0093	0.0006	0.0100	0.0008	0.0054	0.0004
p_z			0	0	0.0090	0.0007	0.5306	0.0382
	$\theta = 0.75$							
	基准情形		环境税情形		排放标准情形		总量控制情形	
	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$	σ	$\frac{\sigma}{\sigma(Y)}$
Y	16.5649	1	16.2380	1	13.6328	1	14.3560	1
C	8.3742	0.5055	8.1134	0.4997	6.3429	0.4653	6.1917	0.4313
L	0.4286	0.0259	0.4277	0.0263	0.4212	0.0309	0.3645	0.0254
w	6.2527	0.3775	6.0703	0.3738	4.8211	0.3536	4.6424	0.3234
r	0.2560	0.0155	0.2560	0.0158	0.2561	0.0188	0.2307	0.0161
R_B	0.1998	0.0121	0.1998	0.0123	0.2001	0.0147	0.1802	0.0126
I	9.5527	0.5767	9.2502	0.5697	7.1883	0.5273	8.0659	0.5618
G	2.9310	0.1769	2.8397	0.1749	2.2200	0.1628	2.1671	0.1510
G_x			0.1914	0.0118	1.1072	0.0812	1.9298	0.1344
\mathcal{C}			0.0096	0.0006	0.3576	0.0262	0.1241	0.0086
X	441.6514	26.6619	377.6596	23.2578	181.7810	13.3341	23.2565	1.6200
K	72.9646	4.4048	70.6760	4.3525	55.1077	4.0423	57.5960	4.0120
v^p	0.0356	0.0021	0.0357	0.0022	0.0417	0.0031	0.0239	0.0017
e			0	0	0.0188	0.0014	2.4223	0.1687
M1	51.1232	3.0862	50.1548	3.0887	43.3601	3.1806	42.9063	2.9887
M2	53.5901	3.2352	52.5629	3.2370	45.0401	3.3038	44.8800	3.1262
MC	0.0280	0.0017	0.0280	0.0017	0.0288	0.0021	0.0356	0.0025
Z	11.1336	0.6721	9.5693	0.5893	4.9078	0.3600	0	0
b	19.2340	1.1611	18.6327	1.1475	14.5263	1.0655	15.8119	1.1014
π	0.0046	0.0003	0.0045	0.0003	0.0046	0.0003	0.0035	0.0002
p^*	0.0369	0.0022	0.0369	0.0023	0.0392	0.0029	0.0281	0.0020
p_z			0	0	0.0162	0.0012	0.5964	0.0415

(三) 理论矩

为了更好的理解不同环境政策下经济的动态行为，本文还计算了模型中主要宏观变量的理论矩。且从模型的二阶近似解开始，即模型内生变量理论矩的二阶近似值。¹⁷

¹⁷ 差分方程系统的一阶线性化会产生确定性等价问题。这是因为仅仅只有冲击的一阶矩进入线性化方程，一旦对方程取期望，一阶矩就会消掉，因此，内生变量的无条件期望等于其非随机稳态值。而对方程系统进行二阶线性化能更好地解释风险（冲击的方差）问题。对于方程系统的一阶和二阶线性化的更详细论述，可参见 Collard、Juillard（2001），

为了进一步探讨名义价格粘性的影响,接下来,本文设置三种不同的名义价格粘性程度:(1) $\theta = 0.5$ (基准情形); (2) $\theta = 0.25$ (低名义价格粘性情形); $\theta = 0.75$ (高名义价格粘性情形)。表 5 中列出了模型中所有内生变量的理论均值。表 6 中列出了所有内生变量的标准差和相对于产出的标准差。表 7 中列出了所有内生变量与产出的相关系数。¹⁸

从表 5 中的宏观变量均值可以看出:(1) 随着名义价格粘性的提高,经济活动更活跃,这一趋势在四种环境政策情形下均存在。中间厂商的边际成本随着名义价格粘性的提高而上升,但是此时在每一期中能调整其中间产品价格至更高的边际成本处的中间厂商更少,也即是说,更多的中间厂商由于名义价格粘性的存在只能维持上一期的价格,那么,最终厂商会由于其投入要素价格的下降而增加需求量,更多的中间产品投入使经济扩张。由于最终厂商处在完全竞争市场环境中,随着名义价格粘性的提高,其边际成本下降,从而引起经济中通货膨胀的下降。(2) 随着经济活动的扩张,污染存量和排放量均会随着名义价格粘性的提高而增加。

政府对企业进行环境规制之后,随着名义价格粘性的变化,企业的减排行为在不同环境政策约束下表现出明显的差异。在环境税情形下,随着名义价格粘性的提高,企业的减排努力不变,从而其减排成本也不变;在单位排放标准情形下,随着名义价格粘性的提高,企业的减排努力下降,其减排成本也下降;在可交易许可证制度下,随着名义价格粘性的提高,企业减排努力上升,其减排成本也上升。根据公式(25)可知,企业的最优减排努力由污染排放价格决定。在环境税情形下,污染排放价格等于环境税率,因此,其并不受名义价格粘性变动的影响;而在单位排放标准管制情形下,排放量随着价格粘性的提高而上升,可交易排放许可证供给增加,因此其价格下降,那么,企业的最优减排努力也随之下降;而在总量控制情形下,可交易许可证供给固定,由于企业对许可证需求的上升,导致许可证价格上涨,企业作出提高减排努力的决策。而由公式(44)可知,企业减排成本与企业减排努力、产出以及价格离散程度正相关,虽然产出随着价格粘性提高而增长,但是价格离散程度却与价格粘性程度负相关,因此,企业的减排成本随着企业减排努力而同向变化。

表 6 中呈现了不同环境政策和不同名义价格粘性下宏观变量的标准差以及各变量与产出的相对标准差结果。名义价格粘性提高加剧了宏观经济波动,也加剧了企业减排行为的波动性。这是因为不能及时调整价格的中间产商越多,价格调整就越缓慢,产出变得更具波动性,这也引起了其它宏观变量具有更大的波动性。当市场中价格信号能更好的发挥作用,即有越来越多的中间产商可以根据供需调整其价格,那么,市场的实际冲击——需求冲击和供给冲击——对经济的影响就会由价格变化吸收一部分,进而稳定经济运行。

接下来,我们关注环境政策对宏观经济波动的作用。从表 6 中的数值结果可以明显地看出,环境税下的外部冲击给宏观经济造成的波动性与基准情形较为接近,这是因为此时企业面对一个固定的边际排放成本。在可交易许可证制度下,企业减排努力的波动性最大,且随着价格粘性的提高,其波动性下降。

在单位排放标准管制下,一方面,单位排放标准管制最能有效降低宏观经济波动性。另一方面,中间厂商名义价格调整越灵活,单位排放标准管制下的减排努力波动性越小,这是由于冲击所带来的波动性的一部分被价格调整消除,且冲击对价格离差所产生的影响也被价格调整的灵活程度抵消,但是由于产出的剧烈波动,最终导致减排成本随着价格粘性的提高而更具波动性。

总之,政府实施的环境规制措施具有降低宏观经济波动的作用,且并不会受到名义价格粘性变化的影响,即环境政策具有“自动稳定器”功能,这与前面冲击部分的分析结果相一致,也验证了 N. C. S. Sim (2006) 的理论结果。

而从宏观变量相对于产出的波动性来看,消费的相对波动性随着价格粘性的提高而增大,但劳动、资本、投资和污染的相对波动性则与价格粘性程度变化相反。

Schmitt-Grohe、Uribe (2004), T. M. Griffoli (2013) 和 J. Fernández-Villaverde et al. (2016), 以及 Michel Juillard 的个人主页 <http://jourdan.ens.fr/~michel/>。

¹⁸ 表 5-表 7 中的所有数值结果均由 Dynare 软件直接给出。

表 7 不同环境政策与不同价格粘性下宏观变量的与产出的相关系数

	$\theta = 0.5$				$\theta = 0.25$				$\theta = 0.75$			
	基准情形	环境税情形	排放标准情形	总量控制情形	基准情形	环境税情形	排放标准情形	总量控制情形	基准情形	环境税情形	排放标准情形	总量控制情形
Y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C	0.8284	0.8286	0.8298	0.7676	0.8267	0.8268	0.8276	0.7674	0.8302	0.8304	0.8318	0.7661
L	0.8113	0.8112	0.8115	0.8022	0.8113	0.8113	0.8114	0.8024	0.8107	0.8107	0.811	0.8012
w	0.9951	0.9951	0.9951	0.9936	0.9951	0.9951	0.9951	0.9936	0.9951	0.9951	0.9951	0.9935
r	0.0393	0.0392	0.0405	0.0175	0.0389	0.0389	0.04	0.0168	0.0353	0.0352	0.0357	0.0125
R_B	0.022	0.022	0.0234	0.0082	0.0215	0.0215	0.0231	0.0152	0.0214	0.0214	0.0219	0.0026
I	0.7525	0.7525	0.7526	0.7479	0.7528	0.7528	0.7529	0.7482	0.7515	0.7515	0.7516	0.7467
G	0.8284	0.8286	0.8298	0.7676	0.8267	0.8268	0.8276	0.7674	0.8302	0.8304	0.8318	0.7661
G_x		1	0.9999	1		1	1	1		1	0.9999	1
C		1	0.9998	1		1	0.9999	1		1	0.9996	1
X	0.3274	0.3279	0.3288	-0.3005	0.3263	0.3267	0.3276	-0.3003	0.33	0.3305	0.3315	-0.3014
K	0.8731	0.8732	0.8738	0.8409	0.8723	0.8724	0.8728	0.8411	0.8746	0.8747	0.8755	0.8406
v ^P	-0.8423	-0.8422	-0.8405	-0.6192	-0.8385	-0.8384	-0.8382	-0.2756	-0.8245	-0.8245	-0.8198	-0.6972
e			-0.8405	1			-0.8382	1			-0.8198	1
M1	0.9982	0.9982	0.9982	0.9978	0.9997	0.9997	0.9997	0.9996	0.9919	0.9919	0.9919	0.9897
M2	0.9984	0.9984	0.9984	0.9981	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9927	0.9927	0.9928	0.9908
MC	0.8423	0.8423	0.8405	0.9071	0.8385	0.8384	0.8382	0.8997	0.8245	0.8245	0.8199	0.9273
Z	1	1	1		1	1	1		1	1	1	
b	0.7612	0.7614	0.7631	0.6952	0.7596	0.7598	0.7607	0.6958	0.7641	0.7644	0.7669	0.6952
π	-0.7402	-0.7397	-0.7344	-0.5968	-0.7408	-0.7404	-0.7333	-0.3247	-0.7977	-0.7973	-0.794	-0.7254
p^*	-0.7402	-0.7397	-0.7344	-0.5968	-0.7408	-0.7404	-0.7333	-0.3247	-0.7977	-0.7973	-0.794	-0.7254
p_Z			-0.8405	1			-0.8382	1			-0.8198	1

表 7 中呈现了四种环境政策与三种名义价格粘性下的宏观变量与产出的相关系数。从表中的数值结果可以看出,除了总量控制情形外,在其它三种环境政策情形下,消费与产出的相关性随着名义价格粘性的提高而增大。劳动、投资与产出的相关系数随着价格粘性的提高而下降,资本、边际成本与产出的相关系数则随着价格粘性的提高而上升。这是因为企业调整其产品价格的能力越弱时,面对实际冲击,企业会调整其生产要素投入来抵消实际冲击所造成的影响¹⁹。

而且从环境相关变量来看,在总量控制情形下,企业减排努力与产出相关系数为 1,即表现出完全顺周期性。在单位排放标准情形下,企业减排努力与产出的相关系数-0.8,即表现出逆周期性,这是因为随着产出的增加,污染排放量也上升,从而企业减排努力下降,且对排放许可证需求下降,引起许可证价格下降(表现出逆周期性)。而减排成本与产出的相关系数在三种环境政策和三种粘性价格下均为 1,即表现出顺周期性。污染存量和流量在基准情形、环境税情形和单位排放标准情形下也表现出顺周期性,而在总量控制情形下,污染存量表现出逆周期性,这是因为在这种环境管制情形下,排放总量固定,而政府减排支出又具有完全顺周期性,外加自然降解作用,污染存量最终表现出逆周期性。

七、税收政策不确定性下宏观变量的动态

上一节分析了家庭偏好冲击和技术冲击对宏观经济变量和环境变量的动态影响及其传导机理,并分析了三种名义价格粘性下宏观变量面对相同市场冲击时的理论矩。除了上述实际冲击——家庭偏好冲击和技术冲击——会对宏观经济和污染造成波动外,宏观经济政策冲击也会对宏观经济和环境产生影响。从环境宏观经济学的角度来看²⁰,向右下方倾斜的环境均衡曲线与 IS-LM 曲线结合在一起形成产出-货币-环境均衡点,当环境政策不变时,财政政策和货币政策的变动会引起均衡点的变动,从而造成环境质量的变化(A. Heyes, 2000; P. A. Lawn, 2003; N. C. S. Sim, 2006; C. S. Decker、Mark E., 2012),而 B. Annicchiarico et al. (2015)在 NK 模型框架中分析了公共支出和货币政策冲击对宏观经济与环境的影响,卢洪友等(2016)则在 RBC 模型框架中分析了公共支出与两种所得税冲击对宏观经济与环境的影响。从上述文献研究表明,理论和经验两个方面均实证得出财政政策的变动会影响环境质量,且有关税收政策冲击的研究不足,且没有文献关注间接税冲击的宏观经济与环境效应。基于此,本节分析宏观变量对三种税收政策冲击——商品税冲击、劳动所得税冲击和资本所得税冲击——的动态响应路径。

接下来,采用脉冲响应函数分析不同税收冲击下,宏观变量的变化方向、变化程度,以及动态演变路径。脉冲响应函数呈现了各宏观变量对税收冲击的动态路径。本文在 $t=1$ 时期分别给予商品税率冲击、劳动所得税率冲击和资本所得税率冲击一个标准差的变动,即是说, $\epsilon_{C,t} = 1$, $\epsilon_{L,t} = 1$, $\epsilon_{K,t} = 1$ 。然后,计算出模型中所有宏观变量随时间演化的响应值。模拟的时间跨度为 50 期,且脉冲响应图中呈现的是宏观变量的稳态偏离百分比。

¹⁹ 本文得到的这一结果与 B. Annicchiarico et al. (2015)稍有差异。在 B. Annicchiarico et al. (2015)的校准的美国经济环境中,劳动和投资与产出的相关系数均随着价格粘性的提高而上升。本文认为在高价格粘性下,企业面对实际冲击调整其要素投入来对冲不利影响,这一作用机理在本文中仍然适用。之所有出现与 B. Annicchiarico et al. (2015)数值结果的差异,是因为在中国的经济环境中,工资率与产出相关系数接近于 1,而资本利率与产出相关系数接近于 0,这一结果也较为接近中国经济的实际情形,改革开放以来,劳动力流动更顺畅,尤其是农村劳动力向城市转移,工资率在市场竞价中更具有弹性,而资本利率在中国一直被管制,因此不会随经济周期性波动或者波动较小。

²⁰ 早在 20 世纪 70 年代初期, Keeler et al. (1971)、Forster (1973)和 Maler (1975)等学者已经构建环境增长模型来研究环境污染与经济增长问题,但直到 Daly (1991)才正式提出“环境宏观经济学”(Environmental Macroeconomics)。之后,环境宏观经济学得到许多有益的发展,详细文献解读信息,可参见许文立的个人主页(<http://bbs.pinggu.org/home.php?mod=space&uid=869308>)或“李志清环境经济工作室”(微信公众号: lzqstudio)上有关“环境宏观经济学”系列文献的解读及评论。

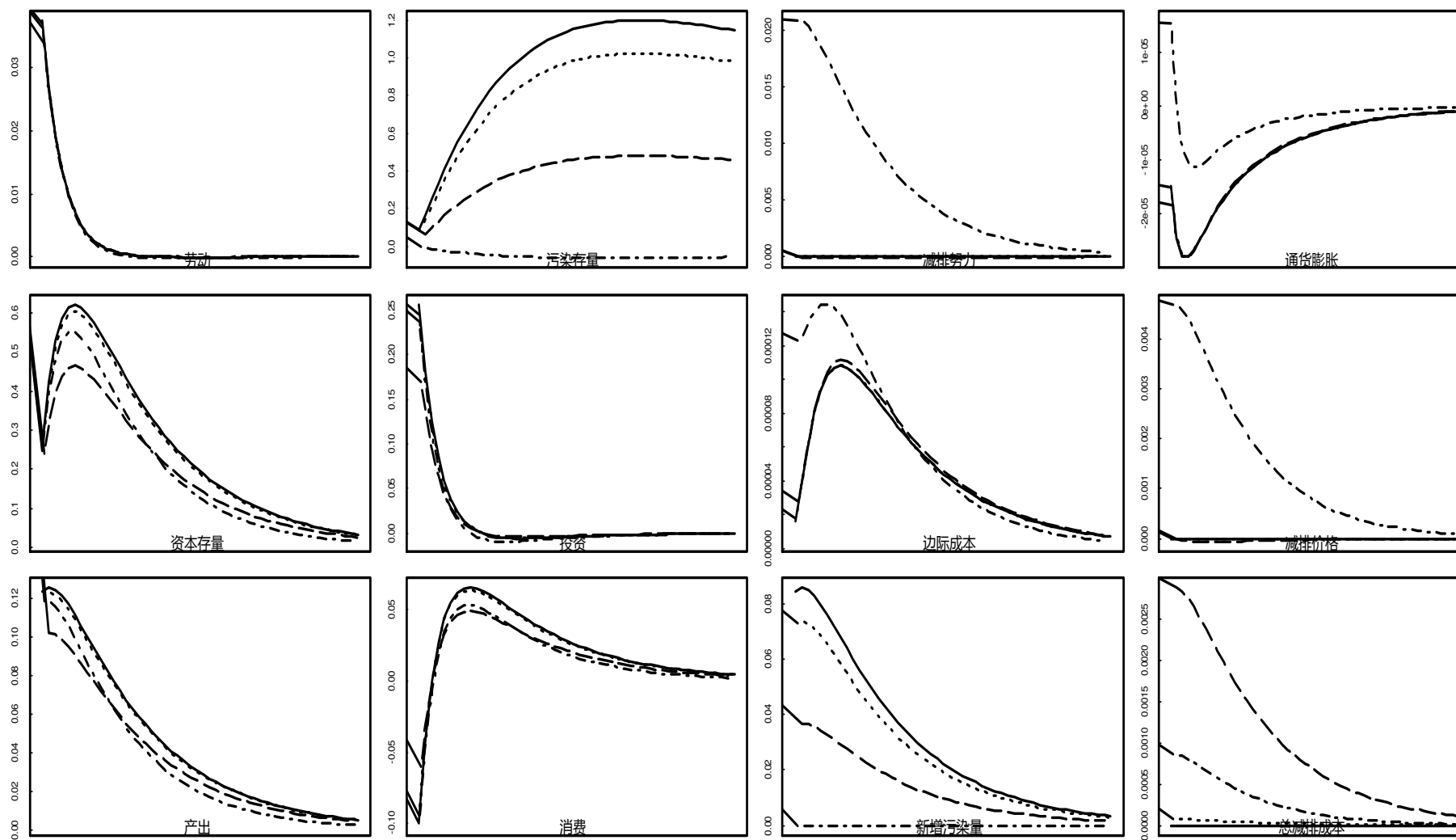


图 5 不同环境政策体系下宏观变量对商品税率冲击的响应

说明：（1）图中冲击模拟结果共 50 期，水平轴为时期变化，纵轴为偏离百分比；（2）实线为无环境政策的基准情形，点线为征收固定比例环境税的情形，点虚线为控制排放总量情形，虚线为控制生产排放标准的情形。

（一）商品税率冲击

图 5 中呈现的是不同环境政策下，商品税率负向冲击引起的宏观变量的脉冲响应图。面对商品税率的暂时性下降，消费品和投资品的含税价格下降，家庭会增加总需求。一方面，总需求的上升在最终产品市场中引起产出增长，这又引致了中间厂商增加劳动和资本投入来扩大中间产品生产，对生产要素需求的增长推高了要素价格，从而使得中间厂商的边际成本上升。从图 5 中可以观察到，面对商品税率的暂时性下降，资本最大值和边际成本最大值的出现均出现时滞，资本最大值出现时滞是由于资本是存量，而边际成本最大值的滞后性则是由于其状态依赖于资本存量的变化。另一方面，总需求的增长主要是由于投资需求拉动，从图 5 中能明显看出，面对商品税率的暂时性下降，家庭消费需求立即出现负向调整，而投资需求立即出现正向调整。因为商品税率只是暂时性下降，家庭会发现其最优决策为投资随着商品税率的下降而下降逐渐回到稳态水平，而消费决策则由于家庭收入的增长，家庭也会在调整的初期阶段增加消费，因此消费的最大值滞后 9 期出现，此后消费也开始逐渐回落到稳态水平。此外，总需求的上升并没有引起通货膨胀的上涨，这是因为中间产品需求的增加引起中间产品价格的上涨，但是由于名义价格粘性的存在，只有部分中间厂商有能力调整其价格至更高的边际成本，致使价格离差程度下降，通货膨胀下降。

从图 5 中可以观察到，政府实施环境规制措施抑制了由商品税率下降引起的经济扩张，且可交易许可证制度对经济扩张的抑制效应最大，这是因为环境规制措施提高了企业的边际成本，且产出中的一部分要用于减排活动。值得注意的是，在可交易许可证制度下，面对商品税率的暂时性下降，通货膨胀上升。

接下来关注环境相关变量对商品税率冲击的动态响应。除总量控制情形外，其他三种环境政策情形下，由商品税率下降引起的产出增长，伴随着企业污染排放量的增加，大气中残存的污染存量则在研究期内不断增加，污染变量响应路径与技术冲击下的响应路径相似。总量控制情形下，企业的污染排放量固定，虽然污染存量的自然降解过程较为缓慢，但是商品税率下降引致了政府污染治理支出的增加，因此，污染存量出现下降。

环境税情形下的排放价格与减排努力对商品税率暂时性下降的反应与基准情形相同。而在排放总量控制情形下，由于企业排放控制固定，其需要投入更多的资源减排，且排放许可证供给固定，需求增长推动其价格上升。值得注意的是，在单位排放标准情形下，企业面临的排放价格出现负向调整，且其最小值滞后 8 期出现，这是由于价格粘性的存在，而在此种环境规制情形下，排放许可证供给受到价格离差的影响，进而价格离差的变化影响到排放许可证价格的变动路径。而减排努力的最优决策又依赖于单位排放价格，因此，企业的减排努力也出现下降，并在第 8 期出现最小值。在三种环境规制措施下，企业的减排成本对商品税率下降的反应均出现提高，这主要是由于企业产出增加所致。

（二）劳动所得税率冲击

劳动所得税率冲击对宏观经济与环境变量的动态影响呈现在图 6 中。在第一期降低劳动所得税率，正如预期，消费、投资、劳动、资本和产出等经济活动立即出现扩张。一方面，劳动所得税率的下降，家庭获得的税后工资上升，那么，家庭享受闲暇的机会成本上升，家庭在闲暇和劳动的替代作用下，更多的供给劳动，通过完全竞争的劳动市场，中间厂商劳动投入也会增加，中间产品产出提高，刺激最终产出增长。另一方面，在最终产品市场中，需求由供给决定，总需求出现增长，但由于要素所得的增加使得家庭收入增加，家庭拥有更多的收入在消费和投资间进行配置，如图 6 所示，家庭随着收入的增长，消费也会在动态调整的初期持续上升，因此出现消费最大值的时滞性。值得注意的是，劳动所得税率的暂时性下调，通货膨胀立即出现小幅下降，但由于在调整的初期阶段，中间厂商的最优价格动态从负向调整逐渐上升至稳态水平以上的最大值，在名义价格粘性不变的条件下，通货膨胀的动态调整路径与中间厂商的最优价格动态响应路径一致。而从不同的环境政策来看，政府实施的环境规制措施也具有抑制经济扩张的效应。

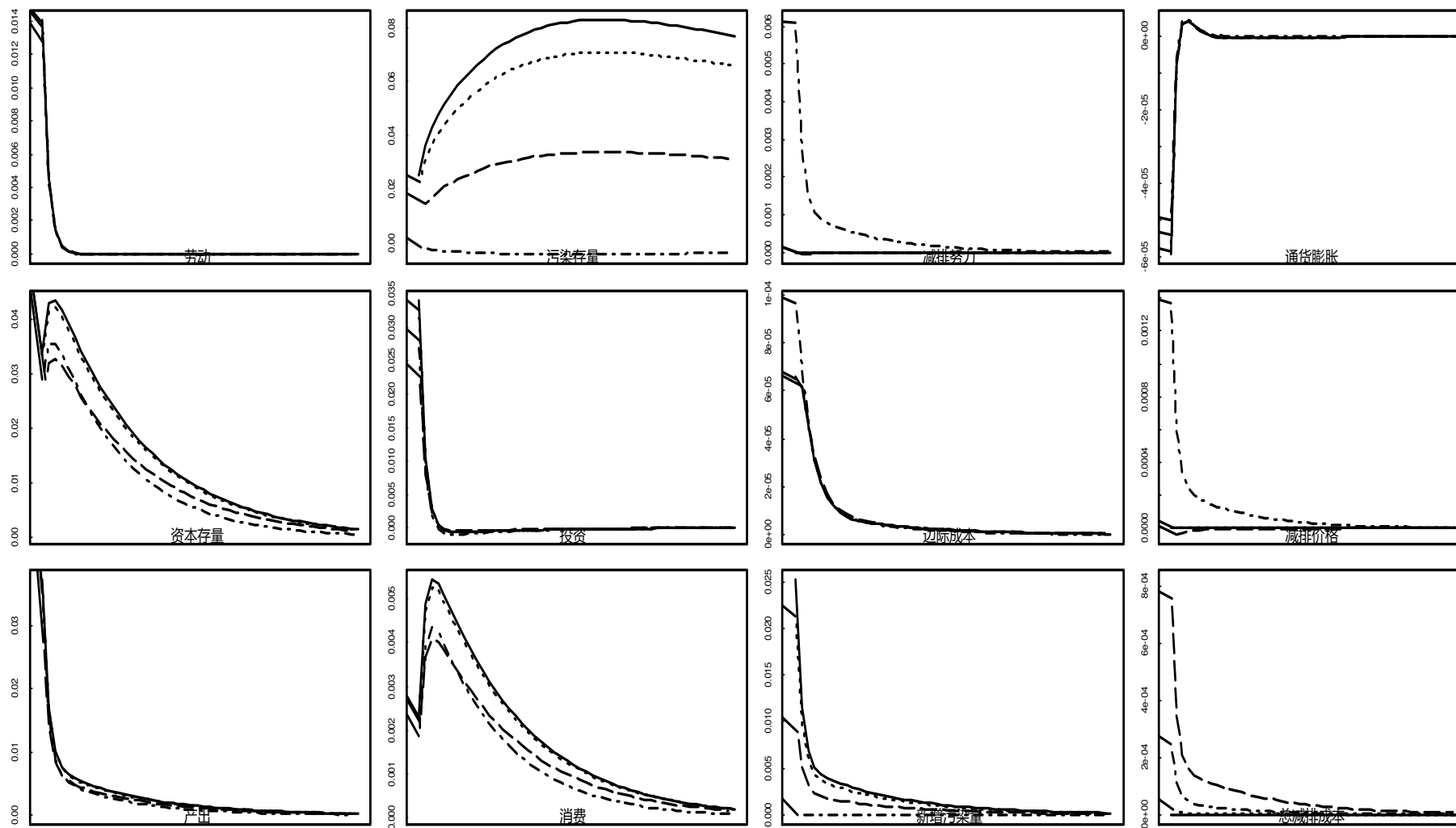


图 6 不同环境政策体系下宏观变量对劳动所得税率冲击的响应

说明：（1）图中冲击模拟结果共 50 期，水平轴为时期变化，纵轴为偏离百分比；（2）实线为无环境政策的基准情形，点线为征收固定比例环境税的情形，点虚线为控制排放总量情形，虚线为控制生产排放标准的情形。

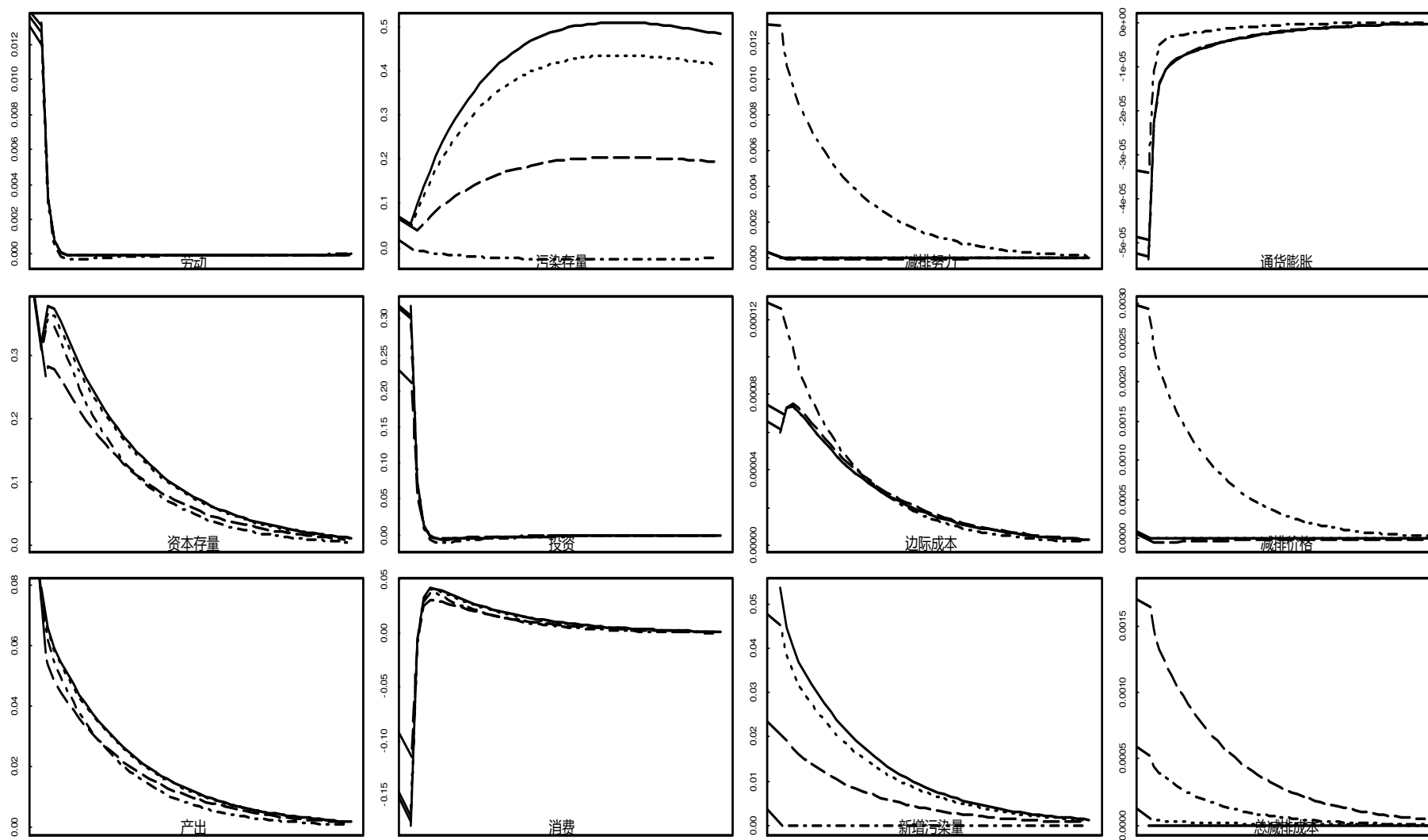


图 7 不同环境政策体系下宏观变量对资本所得税率冲击的响应

说明：（1）图中冲击模拟结果共 50 期，水平轴为时期变化，纵轴为偏离百分比；（2）实线为无环境政策的基准情形，点线为征收固定比例环境税的情形，点虚线为控制排放总量情形，虚线为控制生产排放标准的情形。

从环境相关变量来看，劳动所得税率的下降对它们的动态影响与商品税率下降所带来的影响相似，其作用机理也较为相似。

（三）资本所得税率冲击

图 7 展示了主要宏观变量对资本所得税率冲击的脉冲响应。资本所得税率的暂时性下调，家庭所得到的单位资本利息上升，家庭会发现提高储蓄是其最优反应。一方面，投资的提高引起更多的资本积累，资本也提高，但由于其属于存量，在资本折旧的作用下，资本呈现出倒“U”型变化路径。而另一方面，储蓄的增加挤出家庭消费，因此家庭消费在调整的初期出现下降，随着资本存量的上升，其收入会增加，在收入效应的作用下，家庭消费又上升到稳态水平以上，随后出现下降回到稳态水平。且资本所得税率的下降也具有产出扩张效应，并会引起中间厂商边际成本消费上升。而正如上文所观察到的现象，环境规制措施具有抑制产出扩张的效应。

在总量控制情形下，面对有利的冲击，企业会发现其需要更多的资源投入到减排活动中，最优反应增加排放许可证的需求，但是这引起许可证价格的上升，因此，企业会发现其提高减排努力更有利可图。

在单位排放标准情形下，企业的排放量会随着产出的增长而成比例的增加，而这又引致企业减少排放许可证的需求，许可证价格下降，企业减排努力降低。正如上文解释的一样，由于价格粘性的存在意味着只有一部分中间厂商能调整其价格至最优价格，有能力调整价格的中间厂商面临的需求下降幅度大于那些不能调整其价格的厂商。这中厂商异质性行为是由于价格离差所引起，而价格离差又是效率损失的来源之一。

最后，在环境税情形下，企业的减排努力为固定水平，这就意味着其排放量与产出呈比例。

八、结论与政策含义

改革开放 30 多年来，中国经济社会取得了举世瞩目的成就，但随着经济水平的不断提高，随之而来的环境承载压力也越来越大，资源环境约束已成为我国未来可持续发展的重要制约因素。中国政府部门已于 2015 年发布《中华人民共和国环境保护税法（征求意见稿）》，并在《中美元首气候变化联合声明》中承诺中期单位排放目标与排放峰值目标，于 2015 年底在巴黎气候大会上推动达成《巴黎协定》，中国政府宣布了自愿减排承诺。为了在“十三五”甚至更长时期完成环境治理与减排目标，2016 年的《政府工作报告》和《“十三五”规划纲要》均提出要加大环境污染治理力度，控制新增排放量。

以往环境问题的研究主要集中于微观经济学领域，而忽略环境或者环境政策与宏观经济之间，以及宏观经济政策与环境之间的相互作用及其传导途径。基于此，本文构建了一个扭曲性税收环境下的新凯恩斯模型，并引入家庭偏好冲击和技术冲击等市场不确定性，结合不同名义价格粘性，分析不同环境政策下的宏观经济与环境动态响应路径。同时，根据环境宏观经济学，引入商品税率冲击、劳动所得税率冲击和资本所得税率冲击，分析税收政策冲击对宏观变量波动贡献率及其动态响应路径。通过本文的分析，得到如下结论：

第一，政府的环境规制措施会造成经济损失，但同时也能改善环境。政府实施环境政策与无环境政策情形相比，当污染排放量下降 1% 时，产出下降 0.2%。但三种环境政策的经济成本存在差异，要使污染排放量下降 1%，环境税情形下的经济成本为 0.1442%，总量控制情形下的经济成本为 0.1149%，单位排放标准情形下的经济成本为 0.3258%。

第二，环境政策对宏观经济波动发挥着“自动稳定器”的作用。市场中的不确定性给宏观经济带来波动，环境政策的实施使得企业的一部分资源用于减排活动，企业的总减排成本具有顺周期性，因此能抑制经济的波动。其中，排放总量控制政策的“自动稳定器”效果最大，这是因为除了减排总成本的顺周期外，由于企业排放总量固定，引起排放许可证价格和减排努力的顺周期性，因此，更能发挥“自动稳定器”的作用。

第三，面对市场不确定性，价格机制越不畅通，企业污染排放越大。市场中的价格机制越不畅通，由于价格离差所造成的效率损失越大，企业就会扩大生产来弥补价格粘性的经济损失。但不同环境政策

情形下，价格粘性变化对企业减排行为的影响不同，环境税情形下，企业的减排活动不受价格粘性的影响，单位排放标准情形下，随着价格粘性的提高，企业的减排努力下降，而总量控制情形下，企业的减排努力随着价格粘性的提高而上升。

第四，税收政策的变化会对企业污染排放行为产生明显地影响。正如 S. P. Cassou 和 S. F. Hamilton (2004) 的理论结果一样，税收政策会影响环境库兹涅茨曲线的拐点，即环境质量-增长之间的关系。本文引入的商品税率冲击、劳动所得税率冲击以及资本所得税率冲击均会对经济增长，以及企业污染排放量产生影响。

通过本文的研究结论，可以得到未来中国污染减排的一些政策含义：第一，应尽快实施全国统一的环境规制措施，且应更倾向于环境税与许可证等价格型政策工具，尤其是规定排放总量，然后出售与排放总量对应的许可证，例如，在 2017 年全国可交易许可证市场上，可在许可证交易过程中，除了各地区内部企业之间的许可证交易外，地区政府间也可进行许可证交易；第二，充分发挥价格机制在污染减排中的作用，破除市场垄断和壁垒，使得价格灵活调整，进而激励企业积极参与减排活动；第三，税制结构也会影响环境质量，根据卢洪友等 (2016)，要使得中国税制结构更加绿色，应该降低劳动所得税率，提高资本所得税率，降低劳动所得税率对产出刺激作用较大，引起的环境负效应较小，与此同时，提高资本所得税率，又对产出的抑制作用较小，对环境质量的改善效应较大。综上所述，未来中国不仅仅要实施环境政策，完善环境政策体系，还应该注重改革财政体系，使得财政体系更加绿色化，这也有利于引导中国绿色发展。

本文的理论模型并未涉及到消费端污染排放问题，消费端污染排放也是重要的污染源，许多学者已经对此进行建模，因此，本文后续的研究可以融入消费端污染，并将污染存量建模到家庭效用函数中。本文的模型参数主要以前人的研究结果来校准，后续可以采用贝叶斯估计相关参数。并进一步模拟环境政策冲击对宏观经济与环境的动态影响，以及模拟 Ramsey 环境政策问题。

参考文献

- 曹静，2009：《走低碳发展之路：中国碳税政策的设计及 CGE 模型分析》，《金融研究》第 12 期。
- 陈昌兵，2014：《可变折旧率估计与资本存量测算》，《经济研究》第 12 期。
- 陈诗一，2011：《边际减排成本与中国环境税改革》，《中国社会科学》第 3 期。
- 董直庆，蔡啸，王林辉，2014：《技术进步方向、城市用地规模和环境质量》，《经济研究》第 10 期。
- 郭庆旺，贾俊雪，2005：《中国全要素生产率的估算：1979-2004》，《经济研究》第 6 期。
- 胡宗义，朱丽，唐李伟，2014：《中国政府公共支出的碳减排效应研究——基于面板联立方程模型的经验分析》，《中国人口·资源与环境》第 10 期。
- 黄贇琳，2005：《中国经济周期特征与财政政策效应——一个基于三部门 RBC 模型的实证分析》，《经济研究》第 6 期。
- 黄贇琳，朱保华，2015：《中国的实际经济周期与税收政策效应》，《经济研究》第 3 期。
- 刘凤良，吕志华，2009：《经济增长框架下的最优环境税及其配套政策研究——基于中国数据的模拟运算》，《管理世界》第 6 期。
- 卢洪友，许文立，许坤，2016：《如何使中国的财政政策更绿色？——基于环境宏观经济学的视角》，德国慕尼黑大学工作论文，MPRA Paper No. 70221。
- 石敏俊，袁永娜，周晟吕，李娜，2013：《碳减排政策：碳税、碳交易还是两者兼之？》，《管理科学学报》第 44 卷第 9 期。
- 涂正革，谌仁俊，2015：《排污权交易机制在中国能否实现波特效应？》，《经济研究》第 7 期。
- 王爱俭，王璟怡，2014：《宏观审慎政策效应及其与货币政策关系研究》，《经济研究》第 4 期。
- 吴力波，钱浩祺，汤维祺，2014：《基于动态边际减排成本模拟的碳排放权交易与碳税选择机制》，《经

济研究》第9期。

姚昕, 刘希颖, 2010:《基于增长视角的中国最优碳税研究》,《经济研究》第11期。

张帆, 2000:《中国的物质资本和人力资本估算》,《经济研究》第8期。

张健华, 王鹏, 2012:《中国全要素生产率: 基于分省份资本折旧率的再估计》,《管理世界》第10期。

张军, 2002:《资本形成、工业化与经济增长: 中国的转轨特征》,《经济研究》第6期。

张军, 吴桂英, 张吉鹏, 2004:《中国省际物资资本存量估算: 1952-2000》,《经济研究》第10期。

张军, 章元, 2003:《对中国资本存量K的再估计》,《经济研究》第7期。

赵敏, 张卫国, 俞立中, 2009:《上海市能源消费碳排放分析》,《环境科学研究》第22卷第8期。

A. Heyes, 2000, "A proposal for the greening of textbook macro: IS-LM-EE", *Ecological Economics*, 32:1-7.

Barbara Annicchiarico, Fabio Di Dio, 2015, "Environmental policy and macroeconomic dynamics in a new Keynesian model", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.69, 1-21.

Carolyn Fischer, Michael Springborn, 2011, "Emissions targets and the real business cycle: intensity targets versus caps or taxes", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.62, 352-366.

Christopher S. Decker, Mark E., 2012, "WoharSubstitutability or complementarity? Re-visiting Heyes' IS-LM-EE model", *Ecological Economics*, 74:3-7.

Chu, H., Lai, C-C., Liao, C-H., 2015, "A note on environment-dependent time preferences", *Macroeconomics Dynamics*, 1-16.

Collard, F., M. Juillard, 2001, Accuracy of stochastic perturbation methods: The case of asset pricing models," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(6-7), 979-999.

D. Fullerton, 2001, "A Framework to Compare Environmental Policies", *Southern Economic Journal*, Vol. 68, No. 2, pp. 224-248.

Daron Acemoglu, Philippe Aghion, LeonardoBursztyn, David Hemous, 2012, "The environment and Directed technical change", *American Economic Review*, Vol.102(1), 131-166.

Davis S, Haltiwanger J, 2001, "Sectoral job creation and destruction responses to oil price changes", *Journal of Monetary Economics*, Vol.48, 465-512.

Evangelos V. Dioikitopoulos, Sugata Ghosh and Eugenia Vella, 2016, "Technological Progress, Time Perception and Environmental Sustainability", *SERPS no.* 2016002.

Falk Ita, Mendelsohn Robert, 1993, "The economics of controlling stock pollutants: an efficient strategy for greenhouse gases", *Journal of Environmental Economics and Management*, 25(1):76-88.

Garth Heutel, 2012, "How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks", *Review of Economic Dynamics*, Vol.15, 244-264.

Garth Heutel, Carolyn Fischer, 2013, "Environmental macroeconomics", *NBER Working Paper*, NO.18794.

I. Schumacher, 2009, "Endogenous discounting via wealth, twin-peaks and the role of technology", *Enocnomics Letters*, 103:78-80.

IPCC, 2001, "Climate change 2001: The scientific basis (third assessment report)", <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/>.

Jesús Fernández-Villaverde, Juan F. Rubio Ramírez, Frank Schorfheide, 2016, "Solution and Estimation Methods for DSGE Model", *NBER Working Paper No.*21862.

John Reilly, 1992, "Climate-change damage and the trace-gas-index", In: J. Reilly, M. Anderson(Eds.), *Economic issue in global climate change: agriculture, forestry, and natural resources*. Westview Press, Boulder and Oxford.

Kim I. M, Loungani P., 1992, "The role of energy in real business cycle models", *Journal of Monetary Economics*, Vol.29, 173-189.

Konstantinos Angelopoulos, George Economides, Apostolis Philippopoulos, 2010, "What is the best

environmental policy? Taxes, Permits and Rules under Economic and Environmental Uncertainty”, CESIFO Working Paper, NO.2980.

Moore Berrian, Braswell B.H., 1994, “The lifetime of excess atmospheric carbon dioxide”, *Global Biogeochemical Cycles*, 8(1):23-38.

N. C. S. Sim, 2006, Environmental Keynesian macroeconomics: Some further discussion, *ecological economics*, 59:401-405.

Nordhaus William, 1991, “To slow or not to slow:the economics of the greenhouse effect”, *The Economic Journal*, 101(407):920-937.

P. A. Lawn, 2003, On Heyes’ IS – LM – EE proposal to establish an environmental macroeconomics, *Environment and Development Economics* 8: 31 – 56.

Pizer W.A., 1999, “The optimal choice of climate change policy in the presence of uncertainty”, *Resource and Energy Economics*, Vol.21, 255-287.

Pizer W.A., 2001, “Combining price and quantily controls to mitigate global climate change”, *Journal of Public Economics*, Vol.85, 409-433.

S. Adjemian, H. Bastani, M. Juillard, F. Mihoubi, G. Perendia, M. Ratto, S. Villemot, 2011, “Dynare: Reference Manual, Version 4”, Dynare Working Paper No.1, <http://www.dynare.org/wp-repo/dynarewp001.pdf>.

Schmitt-Grohe, S., M. Uribe, 2004, Solving dynamic general equilibrium models using a second-order approximation to the policy function," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(4), 755-775.

Steven P. Cassou, Stephen F. Hamilton, 2004, The transition from dirtyto clean industries: optimal fiscal policy and the environmental Kuznets curve, *Journal of Environmental Economics and Management* 48 (2004) 1050 – 1077.

Tommaso Mancini Griffoli, 2013, “Dynare User Guide: An introduction to the solution & estimation of DSGE models”, <http://www.dynare.org/documentation-and-support/user-guide/Dynare-UserGuide-WebBeta.pdf>.

Weitzman M. L., 1974, “Prices vs. Quantities”, *Review of Economic Studies*, Vol.41,477-491.

Yazid Dissou, Lilia Karnizova, 2012, “Emissions cap or emissions tax? A multi-sector business cycle analysis”, University of Ottawa, Working Paper NO.1210E.

Environmental Policy and China's Macroeconomic Dynamics Under Uncertainty

---Based on The NK Model with Distortionary Taxation

Abstract: This paper, by building a New Keynesian dynamic general equilibrium model that combines with distortionary taxation, pollution decision of firms, and environmental quality evolution under uncertainty, analyzes shocks from markets and taxation policies on macro-economy and environmental quality under different environmental policies circumstance theoretically. Further, parameters are calibrated on the basis of macroeconomic and pollution data from 1978 to 2014 in China as well as results from completed researches of others, and accordingly simulates differentiated response of macro-economy and environment to altering policy circumstance. Empirical results indicate that: (1) carrying out various environmental policies indeed causes economic loss, for which economic costs in average reach 0.1950% with 1% reduction of pollution elimination while change of economic costs (0.11149) under implement of pollution-discharge-permit system; (2) various environment polices play the role as automatic stabilizers for halting aggregate fluctuation, the most magnificently effect of decreasing instability relatively comes from Discharge Permit System in particular; (3) rising obstacles on price transmission lead to decreasing pollution-cut struggle from enterprises and increasing pollution emission; (4) taxation polices play effective roles for encouraging firms to participate on emission-cut activities. Potential suggestions, hence, root in: (1) putting environment regulation into effect fast, in which Discharge Permit police should be dominant and others be complementary; (2) carrying out marketization reforms by removing price intervention and posing fundamental effect of markets; (3) putting leading function of fiscal and taxation polices into effect by realizing green taxation institution.

Key Words: Environmental Policy; Macroeconomic Dynamics; New Keynesian Model

JEL Classification: E6, H3, Q5